

2

Universidade de A Coruña

TESIS DOCTORAL

**" LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES EN LA
ANTIGUA GALLAECIA ROMANA "**

Por Manuel Durán Fuentes

Dirigida por: Carlos Nárdiz Ortiz

Doctor Ingeniero de Caminos

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de
Caminos, Canales y Puertos
A Coruña

Universidade de A Coruña

TESIS DOCTORAL

“ LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES EN LA ANTIGUA *GALLAECIA* ROMANA”

Por Manuel Durán Fuentes

Dirigida por: Carlos Nárdiz Ortiz

Doctor Ingeniero de Caminos

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de
Caminos, Canales y Puertos
A Coruña

[2001]

CONTENIDO

PREFACIO	I
CAPÍTULO 1.- Planteamiento de la tesis	
1.1.- Objetivo	1
1.2.- Metodología adoptada	3
1.3.- Medición de los puentes y elaboración de planos.	6
CAPÍTULO 2.- Estudio y conocimiento de los puentes romanos: estado de la cuestión.	
2.1.- Apuntes de la historia reciente de las actividades en pro del conocimiento de las obras públicas históricas en España.	9
2.2.- Trabajos y publicaciones recientes sobre puentes históricos.	11
CAPÍTULO 3.- Las fuentes clásicas para el estudio de los puentes romanos.	
3.1.- La existencia de la proporción y el módulo.	19
3.2.- Unidades de medida.	20
3.3.- Las fuentes de los conocimientos de proyecto y construcción.	23
3.4.- Tratados clásicos sobre construcción romana.	31
3.5.- Los artífices de las obras públicas romanas.	33
3.6.- Los <i>Collegii</i> .	44
CAPÍTULO 4.- Las características constructivas de los puentes romanos.	
4.1.- Introducción.	47
4.2.- Las estructuras arqueadas y el puente.	49
4.3.- La aparición histórica del puente como artificio de paso.	56
4.4.- El planteamiento inicial de la construcción de un puente.	61
4.4.1.- La ubicación.	62
4.4.2.- Las condiciones del terreno.	64
4.4.3.- Los materiales.	65
4.4.4.- El desagüe.	69
4.4.5.- La composición o disposición.	74
4.4.5.1.- La cimentación.	74
4.4.5.2.- Las pilas y estribos.	80
4.4.5.3.- Las bóvedas o arcos.	94
4.4.5.4.- Los tímpanos.	110
4.4.5.5.- La plataforma: calzada y pretilas.	116
4.4.6.- Los sistemas constructivos.	123
4.4.7.- La ornamentación y otros detalles.	132
4.4.7.1.- Los arcos de triunfo o conmemorativos.	132
4.4.7.2.- Impostas o cornisas.	134
4.4.7.3.- Hornacinas o nichos.	137
4.4.7.4.- Inscripciones.	137
4.4.7.5.- Pequeños elementos decorativos y otros detalles.	139
CAPÍTULO 5.- Análisis dimensional de los puentes romanos de Hispania	
5.1.- Análisis de los puentes hispanos.	143
5.1.1.- Los materiales constructivos.	144
5.1.2.- Tipología de los puentes conservados.	145
5.1.3.- Las luces y los anchos de los arcos.	149
5.1.4.- Relación entre el espesor y la luz de la bóveda.	154
5.1.5.- Relación entre el espesor de la pila y las luces de los arcos contiguos.	155
5.1.6.- Relación entre la Σ de luces y la longitud del puente entre estribos.	157
5.1.7.- Presencia de almohadillado.	159
5.1.8.- Hiladas alternas a soga y tizón.	163
5.1.9.- La rasante de la plataforma.	165
5.1.10.- El espesor de las bóvedas.	166

5.1.11.- Presencia de agujeros de pinzas (<i>ferrei forfices</i>).	167
5.2.- Análisis de las obras conservadas en la antigua <i>Hispania</i> (excluida <i>Gallaecia</i>)	169
5.2.1.- Puente de Salamanca.	170
5.2.2.- Ponte Velha de Vila Formosa (Portugal).	179
5.2.3.- Puente de Caparra (Cáceres).	186
5.2.4.- Puente de Alconetar (Cáceres).	190
5.2.5.- Puente de Segura (Cáceres).	200
5.2.6.- Puente del Albarregas en Mérida (Badajoz).	206
5.2.7.- Alcantarilla de Mérida (Badajoz).	210
5.2.8.- Puente de Alcantarillas (Sevilla).	213
5.2.9.- Puente de Los Pedroches (Córdoba).	217
5.2.10.- Puente de Villa del Río (Córdoba).	220
5.2.11.- Alcantarilla de San Ciprián y San García en Cerezo de Riotirón (Burgos).	227
5.2.12.- Puente de Aljucén (Badajoz).	230
5.2.13.- Puente del Diablo en Martorell (Barcelona).	233
5.2.14.- Los puentes de Mérida y de Alcántara.	237
5.2.14.1.- Puente de Mérida (Badajoz).	238
5.2.14.2.- Puente de Alcántara (Cáceres).	252
CAPÍTULO 6.- Territorio y población de <i>Gallaecia</i>	
6.1.- Definición del marco espacial y temporal.	263
6.2.- El relieve y el clima.	263
6.3.- Los pasos y corredores naturales.	269
6.4.- La ocupación del territorio por Roma.	275
6.5.- Los centros urbanos y militares.	278
CAPÍTULO 7.- Las vías de comunicación de <i>Gallaecia</i>	
7.1.- Introducción	281
7.2.- La navegación marítima y su infraestructura.	282
7.3.- La navegación fluvial.	287
7.4.- La red viaria.	288
7.4.1.- Estudio del trazado.	289
7.4.2.- Vías principales	294
7.4.2.1.- La vía 17	302
7.4.2.2.- La vía 19	305
7.4.2.3.- La vía 20	311
7.4.2.4.- La vía 18 o <i>Via Nova</i>	312
7.4.2.5.- La vía <i>Bracara - Lucus Augusti</i>	318
7.4.3.- La milla romana.	321
7.4.4.- Características técnico-constructivas de las vías galaicas.	326
CAPÍTULO 8.- Los puentes romanos de <i>Gallaecia</i>	
8.1.- Localización y condicionantes.	329
8.2.- Análisis de las características dimensionales.	332
8.3.- Los puentes romanos de <i>Gallaecia</i>	333
8.3.1.- Ponte Freixo (Ourense).	334
8.3.2.- Ponte Bibei (Ourense).	349
8.3.3.- Ponte Pedriña (Ourense).	356
8.3.4.- Ponte de Trajano en Chaves (Portugal).	359
8.3.5.- Ponte do Arquinho en Valpaços (Portugal).	365
8.3.6.- Ponte de Pedra en Torre de Dona Chama (Portugal).	370
8.3.7.- Ponte de Lima (Portugal).	374
8.3.8.- Alcantarilla de San Lorenzo en Chaves (Portugal).	381
8.3.9.- Ponte de San Miguel en el Gerês (Portugal).	383
8.3.10.- Ponte da Ribeira do Forno en el Gerês (Portugal).	388
8.3.11.- A Pontóriga (Ourense).	389
8.3.12.- Ponte Vella de Ourense.	393
8.3.13.- Ponte Romana de Lugo.	406
8.3.14.- Ponte Navea (Ourense).	412

8.3.15.- Ponte de A Cigarrosa (Ourense).	418
8.3.16.- Ponte de Baños de Molgas (Ourense).	425
CAPÍTULO 9.- Análisis de la capacidad de desagüe de puentes de <i>Gallaecia</i>	
9.1.- Introducción.	431
9.2.- Desarrollo histórico de los conocimientos hidráulicos de los puentes.	432
9.3.- Análisis de la capacidad de desagüe de puentes de <i>Gallaecia</i> .	445
9.4.- Perfiles obtenidos y conclusiones.	448
CAPÍTULO 10.- Estabilidad de las bóvedas de puentes de <i>Gallaecia</i>.	
10.1.- Aproximación a la estabilidad de los arcos.	453
10.2.- Desarrollo histórico del análisis de la estabilidad.	454
CAPÍTULO 11.- Un intento de sistematización de los puentes romanos de <i>Hispania</i>.	
Conclusiones finales	
11.1.- Conclusiones.	457
11.2.- Cuadro resumen de características de los puentes de <i>Hispania</i> .	470
11.3.- Bibliografía.	473
Índice de ilustraciones	489



Juan P. Valcarlos

ILUSTRACIONES

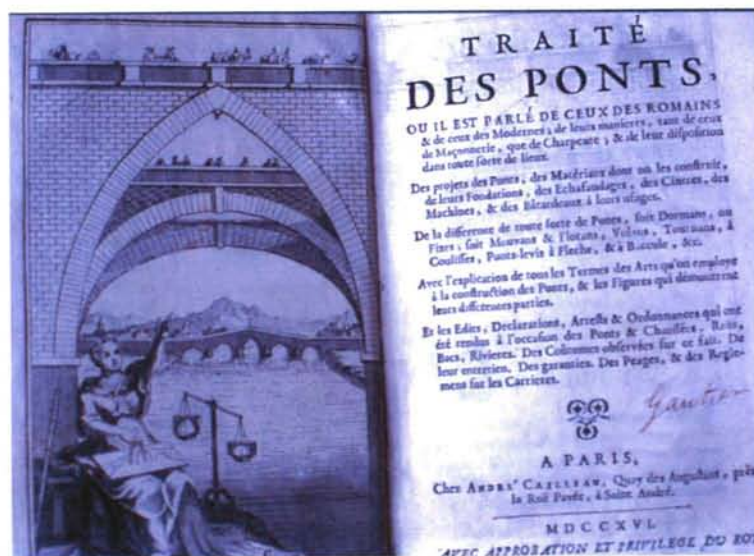
A Pena Tallada, en la sierra de Encina de la Lastra, en el paso de la vía 18.....	267
A Portela de Pitoes, paso natural de la Serra de Xurés (Ourense).....	271
Acueducto Aqua Claudia y Anio Novus en la Porta Maggiore de Roma.....	III
Afloramiento de roca en la cimentación de Ponte Bibei.....	352
Afloramiento rocoso en el lugar de construcción del Pont Julien (Francia).....	126
Agger de la vía romana que pasaba por el puerto de la Menga (Ávila).....	328
Agrupación de miliarios en el lugar de reducción de la milla XIX de la Via Nova (Gêres-Portugal).....	298
Agrupación de miliarios en el lugar de reducción de la milla XXXIII de la Via Nova (Gêres-Portugal).....	299
Agrupación de miliarios en el lugar de reducción de la milla XXXIV de la Via Nova en A Portela de Home.....	313
Agujeros para facilitar el izado con una tenaza (ferrei forfices) en las dovelas de un arco del puente de Chaves.....	124
Agujeros para facilitar la colocación final del sillar con una palanca en la fábrica de Ponte Freixo.....	340
Agujeros para izado con tenazas en sillares y dovelas del puente de Pedro Tenorio (S. XIV) de Puente del Arzobispo en Toledo.....	168
Agujeros para saqueo de las grapas de muro de encauzamiento del Ponte Navea (Ourense).....	94
Agujeros realizados para saquear las grapas emplomadas (arco de Caparra en Cáceres).....	93
Alcantarilla de San Lorenzo (Chaves-Portugal).....	381
Aleta de encauzamiento izquierda aguas arriba del puente de Ribeira do Forno.....	389
Aleta del estribo izquierdo, lado aguas arriba, del Ponte do Arquinho.....	88
Aleta o muro de acompañamiento izquierdo del lado aguas arriba del Ponte do Arquinho.....	366
Aleta que remataba el cuerpo principal de la bóveda de la alcantarilla de San Ciprián.....	229
Almohadillado de las dovelas a sogá del puente de Villa del Río.....	224
Almohadillado de los sillares del puente de Villa del río.....	221
Almohadillado en la parte baja de interior de algunas bóvedas del tramo III del puente de Mérida.....	246
Almohadillado y hiladas a sogá y a tizón en un paramento aguas abajo del puente de Alconetar.....	195
Almohadillados muy bastos en la parte inferior del puente acueducto de Las Ferreras (Tarragona).....	160
Alternancia de piezas a sogá y a tizón en una misma hilada del puente de Albarregas.....	163
Alzado aguas abajo de la alcantarilla de Mérida, con la bóveda de ladrillo.....	22
Alzado aguas abajo de la alcantarilla de San Ciprián de Cerezo de Riotirón (Burgos).....	228
Alzado aguas abajo de Ponte Bibei (Ourense).....	349
Alzado aguas abajo de Ponte Freixo antes de 1989.....	337
Alzado aguas abajo de Ponte Freixo después de la restauración de 1989.....	348
Alzado aguas abajo de Ponte Pedriña (Fotografía publicada por S. Alvarado).....	357
Alzado aguas abajo de Ponte Pedriña sobre el río Limia en Ourense.....	357
Alzado aguas abajo del arco central de Ponte Bibei formado por dovelas de tamaño muy uniforme.....	353
Alzado aguas abajo del arco del puente de San Martín (Aosta-Italia).....	95
Alzado aguas abajo del Pons Fabricius sobre el Tíber en Roma.....	47
Alzado aguas abajo del Ponte de Pedra (Portugal).....	370
Alzado aguas abajo del Ponte di Cecco en Ascoli-Piceno (Italia).....	84
Alzado aguas abajo del Ponte do Arquinho (Poçacos - Portugal).....	365
Alzado aguas abajo del Ponte Velho de Vila Formosa.....	182
Alzado aguas abajo del Ponte Vello de Lugo.....	407
Alzado aguas abajo del Ponte Vello de Ourense.....	394
Alzado aguas abajo del puente de A Cigarrosa (Ourense).....	317
Alzado aguas abajo del puente de Albarregas en Mérida.....	206
Alzado aguas abajo del puente de Alcántara.....	255
Alzado aguas abajo del puente de Augusto de Ascoli-Piceno (Italia).....	83
Alzado aguas abajo del puente de Baños de Molgas (Ourense).....	427
Alzado aguas abajo del puente de Chaves (Portugal).....	360
Alzado aguas abajo del puente de Pollensa (Mallorca).....	460
Alzado aguas abajo del puente de Segura donde se aprecian fábricas de distinta época.....	201
Alzado aguas abajo del puente de Segura donde se ven distintas reconstrucciones.....	7

Alzado aguas abajo del puente de Segura.....	200
Alzado aguas abajo del puente medieval de A Torre (O Corgo-Lugo).....	331
Alzado aguas abajo del puente medieval de Ganceiros en la traza de la vía 18 (Ourense).....	314
Alzado aguas abajo del puente moderno-medieval de Ponte Fechas (Ourense).....	319
Alzado aguas arriba con aletas a ambos lados del Ponte do Arquinho.....	367
Alzado aguas arriba de la alcantarilla de Mérida.....	210
Alzado aguas arriba de la alcantarilla de San García de Cerezo de Riotirón (Burgos).....	228
Alzado aguas arriba de la alcantarilla de San Lorenzo.....	382
Alzado aguas arriba de la rampa del acceso izquierdo del puente de Mérida.....	247
Alzado aguas arriba de los arcos centrales del puente de Caparra, prácticamente de la misma luz.	187
Alzado aguas arriba de los restos trasladados del puente de Alconetar.....	190
Alzado aguas arriba de Ponte Freixo después de su restauración.....	335
Alzado aguas arriba del arco de Ponte Navea.....	414
Alzado aguas arriba del Pontarrón de los Garabios (Cáceres).....	457
Alzado aguas arriba del Ponte Bibei (Ourense).....	63
Alzado aguas arriba del Ponte de Pedra sobre el río Tuela (Portugal).....	72
Alzado aguas arriba del Ponte Navea con cimentación romana (Ourense).....	316
Alzado aguas arriba del Ponte Vello de Lugo.....	409
Alzado aguas arriba del puente de Albarregas (Mérida) con las pilas sin tajamares.....	91
Alzado aguas arriba del puente de Alcantarillas.....	215
Alzado aguas arriba del puente de Augusto en Rimini (Italia).....	47
Alzado aguas arriba del puente de Caparra.....	186
Alzado aguas arriba del puente de Chaves, con tajamares modernos.....	364
Alzado aguas arriba del puente de los Pedroches (Córdoba).....	217
Alzado aguas arriba del puente de Luco de Jiloca (Teruel).....	460
Alzado aguas arriba del puente de Villa del río (Córdoba).....	221
Alzado aguas arriba del puente llamado Etrusco de Blera (Italia).....	57
Alzado aguas arriba del puente Viejo o Romano sobre el río Odiel, cerca de Aracena (Huelva).....	67
Alzado aguas arriba del tramo II, el más reconstruido, del puente de Mérida.....	242
Alzado aguas arriba del tramo III (lado izquierdo) del puente de Mérida.....	240
Alzado aguas arriba del tramo I del puente de Mérida.....	240
Alzado aguas arriba y arco de triunfo del puente del Diablo.....	235
Alzado del tajamar de la pila nº 4 del Ponte Vello de Ourense.....	401
Alzado general del lado aguas arriba del puente de Mérida.....	238
Alzado hipotético de A Pontóriga realizado por el ingeniero S. Alvarado.....	392
Ampliación de finales del XIX del Ponte Vello de Lugo.....	408
Anchura variable de los estribos del puente de la Abadía (Italia).....	83
Animal rampante y falo en dovelas de una de las bóvedas reconstruidas en el s. XVI del puente de Segura.....	141
Antigua barca para cruzar el río Miño (Ourense).....	330
Antigua escollera en la localidad de Bares (Lugo).....	274
Antigua fotografía de finales del XIX del Ponte Vello de Lugo antes de su ampliación (F. Arias Vilas).....	409
Antigua plataforma de 11 m. de anchura de la Via Nova en Encina de La Lastra (Ourense).....	296
Antigua rasante de los estribos del Ponte de Pedra, recrecidos en épocas recientes.....	372
Antigua rasante en doble pendiente del tramo I del puente de Mérida.....	116
Antiguo arranque empotrado en el espolón de la pila nº 2 del Ponte Vello de Ourense.....	405
Arco central de gran luz del siglo XVII del Ponte Vello de Ourense.....	398
Arco central del Ponte Vello de Ourense, vista aguas abajo.....	397
Arco central visto aguas arriba, con daños en el arranque, del puente de los Pedroches.....	219
Arco con arquivoltas del puente de Augusto de Ascoli-Piceno.....	104
Arco con arquivoltas del puente de Augusto de Narni.....	105
Arco cuadrifonte de Caparra (Cáceres).....	186
Arco de descarga apuntado en la base de la pila nº 3 del Ponte Vello de Ourense.....	400
Arco de descarga de voladizos sucesivos en la Tumba o Tesoro de Atreo en Micenas (Grecia).....	27
Arco de triunfo colocado sobre la pila central del puente de Alcántara.....	259
Arco de triunfo en el centro del puente de Alcántara.....	133
Arco de una de las puertas de Falerii Novi (Italia), del siglo III a.C.....	26
Arco de una de las puertas de la ciudad greco-romana de Paestum, cerca de Nápoles.....	55
Arco del lado aguas abajo del puente de Albarregas.....	209

PREFACIO

Desde los tiempos de mi paso por la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, que comienzan a estar algo alejados en mi memoria, donde, de la mano de mis maestros Carlos Fernández Casado y José Antonio Fernández Ordóñez, los puentes históricos pasaron al primer plano de mi interés, han pasado algunos años pero creo que ha llegado el momento de parar y mirar hacia atrás, recopilar todos los apuntes, las anotaciones, los dibujos y planos, las numerosas diapositivas..., y llevar a esta tesis la experiencia y los conocimientos acumulados a lo largo de estos quince últimos años. Me han atraído los puentes de todas las épocas, pero han sido los romanos los que siempre me han sorprendido extraordinariamente por muchos motivos, ya fuese por su calidad constructiva, la idoneidad de la solución, el atrevimiento técnico, su belleza, la sobria decoración, la modernidad de su tipología, la monumentalidad de la obra, la destreza en la ejecución, la capacidad de dar soluciones desde la observación y experiencia, la cuidada nivelación y exactitud constructiva, la universalización dentro de su imperio de las soluciones constructivas, etc. Cada puente fue, es y será un mundo por descubrir, por analizar, por sorprenderme cada vez que me he acercado a ellos, pues me han mostrado algo que todavía guardaban en su misterio y su silencio, ya que son obras sin papeles ni recuerdo, en muchas ocasiones, que sólo se muestran al que con cariño e interés se acercan a ellas.

No es de extrañar que desde siempre el puente haya sido objeto de observación y admiración, como decía el ingeniero francés Hubert Gautier, autor del primer tratado específico sobre la teoría y construcción de puentes, "Traité des ponts" (París, 1716), "... una de las cosas que impone más al hombre, es un magnífico puente sobre un gran río..."¹.



Portada del libro de H. Gautier, el primer tratado técnico sobre puentes.

¹ Gautier, H.: "Traité des ponts et chaussées". Chez André Cailleau. Paris, 1716. P. 10.

o las de otro insigne ingeniero español del siglo XVIII Miguel Sánchez Taramas, profesor de la Academia Militar de Matemáticas de Barcelona, que glosa su grandeza al decir que "... siempre han merecido la atención de los Grandes Principes, no solo por las ventajas que les ha procurado en todos tiempos, para la mas pronta execución de sus Expediciones Militares; sino tambien por la Gloria de hacer felices a sus vasallos, facilitandoles pasos comodoss y seguros sobre las aguas, para exercicio util de su comunicacion, trafico y comercio"².

Su construcción ha sorprendido a los hombres que llegaron a ver, en algún momento histórico, a este tipo de obras fuera de la esfera de la capacidad humana, y a identificarlas como una manifestación de poderes sobrenaturales, que pasaron a ser los llamados "puentes del diablo", construidas por este maléfico y poderoso personaje extramundano como ejemplo de dominio sobre la materia y la naturaleza. Grande ha sido también la sensación de agradecimiento y asegurar el paso del río alejándolo de la fuerza y ferocidad de las aguas siempre peligrosas. Esto ha sido así desde que Roma, nación de constructores de puentes, pontífices, que gobernó el mundo³ se dedicó a construir una densa red viaria que unía las numerosas urbs entre sí y la capital, que colaboró en la creación y mantenimiento de la estructura administrativa romana, en el dominio territorial y en el proceso de implantación de sus leyes. Esta intensa actividad creadora de infraestructuras viarias originó a su vez la aparición y el desarrollo, desde el siglo II a.C. y al abrigo de la *pax romana*, de una poderosa arquitectura e ingeniería que permitieron la construcción de numerosas obras públicas, necesarias para su expansión, conquista e implantación. El deseo de que las obras perdurasen a lo largo del tiempo hasta la eternidad, se aprecia claramente al analizar la mayoría de los puentes construidos en todo el territorio imperial, con una extraordinaria unidad de lenguaje técnico-constructivo y ornamental. Esta aspiración la manifestó expresamente el arquitecto *Caius o Gaius Iulius Lacer*, constructor del puente de Alcántara, en un texto conservado grabado en unas renovadas placas de mármol sobre la puerta del pequeño templo: "... el puente, destinado a durar por siempre en los siglos del mundo..."



Templo in antis en el puente de Alcántara con la placa de mármol donde está grabado el nombre de su constructor Cayo Julio Lacer.

² Sánchez Taramas, M.: "Tratado de fortificación ó arte de construir los edificios militares y civiles. Escrito en inglés por Juan Muller". Barcelona, 1769. Tomo II, p. 57)

³ Steinman, D.B.; Watson, S. R.: "Puentes y sus constructores". Colegio de Ingenieros de Caminos y Ediciones Turner. Madrid, 1979. P. 55.

Obras como la mencionada o las de Augusto construida cerca de Narni y en Rímini, constituyen unos buenos ejemplos del gran desarrollo y originalidad de la ingeniería romana de puentes, que les permitió la construcción de muchos ejemplares levantados no sólo para dar respuesta útil a una necesidad, sino que, en muchas ocasiones, sus constructores tuvieron que sobrepasar ese objetivo básico y dar respuesta a otros más sublimes, marcados por el poder imperial, de convertirlos en un símbolo de los poderes del Imperio y una exaltación de la *maiestas imperii* y la *publica magnificentia* del pueblo romano. Esta cuestión la resaltaron numerosos autores clásicos, como Dionisio de Halicarnaso (60 a.C. - 10 d.C.), que escribió, refiriéndose a sus obras públicas, que la máxima expresión de la grandeza de Roma eran los acueductos, el empedrado de las vías y las cloacas⁴, o aquellas otras del *ensor* y *curator* romano Frontino cuando se preguntaba quién podía comparar las grandes pirámides de Egipto, o las inútiles aunque célebres obras de los griegos, con los acueductos de Roma⁵.



Acueducto Aqua Claudia y Anio Novus en la Porta Maggiore de Roma.

Las obras de ingeniería romanas han destacado por varios motivos, como el empleo de una avanzada y depurada técnica constructiva (p.e. los puentes con arcos rebajados de época republicana de Padua o las estructuras de madera del puente de Apolodoro), por su grandeza o monumentalidad (p.e. los puentes acueducto de Segovia y el Pont du Gard), por su reconocida utilidad (p.e. la Vía Appia o el puerto de Ostia), por el empeño en lograr un fin (p.e. la construcción de la gran rampa del asedio a la ciudad judía de Masada), por la correcta y sabia utilización de los materiales de construcción (p.e. los hormigones ligeros del Panteón o en la pequeña alcantarilla de Mérida), por la precisión constructiva (p.e. la buena nivelación de los canales de As Médulas o de la Ponte Velha de Vila Formosa), por la armonía de sus composiciones (p.e. el puente de Alcántara o de Ponte Freixo donde están presentes todos los

4 Piranesi, G.B.: "De la Magnificencia y arquitectura de los romanos y otros escritos". Edición de Juan Calatrava. (Editorial Akal. Madrid, 1998. P. 97).

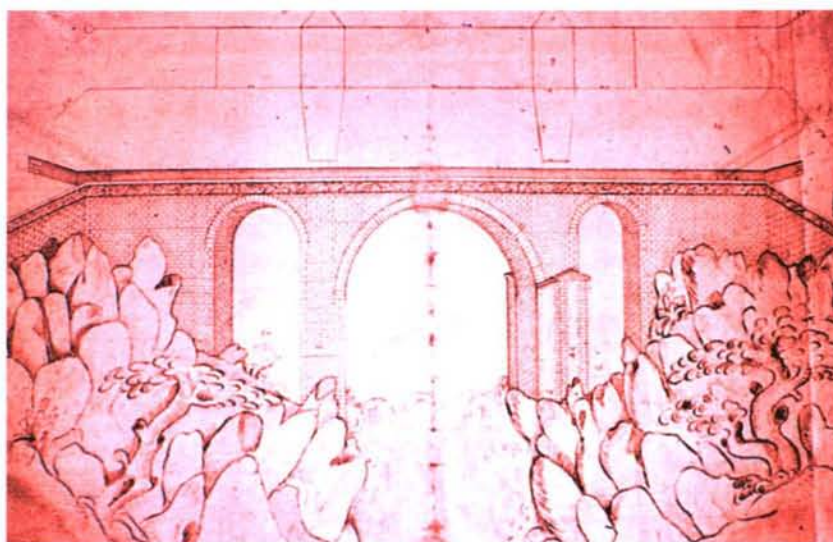
5 VV.AA.: "Maravillas Arquitectónicas del Mundo Antiguo. Obras maestras de ingeniería". National Geographic Society. RBA Publicaciones. Navarra, 1998.

elementos vitrubianos de la arquitectura como la ordenación, la disposición, la eurytmia, la simetría y el ornato), etc. No faltan, como hemos visto, ejemplos de puentes que muevan nuestra admiración por esos motivos, ya que fueron uno de los grandes éxitos de la ingeniería romana y que tanta significación han tenido en Europa desde entonces hasta la actualidad. Las expresiones "puente romano" o "obra de romanos" tiene, todavía hoy, una gran carga valorativa y es la expresión que popularmente se aplica a un puente o una obra bien construida y con aspecto de robusta y resistente; es el estatuto más alto que se le puede dar a un puente antiguo.

CAPÍTULO 1.- PLANTEAMIENTO DE LA TESIS

1.1.- Objetivo

El objetivo de esta tesis doctoral es recoger en ella los resultados de los trabajos que sobre los puentes romanos de *Hispania* en general y *Gallaecia* en particular, he llevado a cabo durante los últimos quince años. He pretendido contribuir a la elaboración de un futuro *corpus* de los puentes romanos de *Hispania*, tantas veces demandado por numerosos profesionales de la Arqueología, Historia e Ingeniería, como Manuel Martín Bueno, José Antonio Fernández Ordóñez o José María Álvarez Martínez, y perseguido a través de sus obras, por Carlos Fernández Casado o el desgraciadamente fallecido y ya citado, Fernández Ordóñez. En este compendio, que incluiría los puentes verdaderamente romanos de España, se recogería la historia de cada uno, planos de planta y alzados realizados con precisión, un pormenorizado análisis de sus diferentes elementos compositivos, estudios de la estabilidad de la estructura y su comportamiento hidráulico, y un informe sobre el estado de conservación así como las posibles actuaciones correctoras que sea necesario realizar en un futuro más o menos inmediato.



Plano del siglo XVI del Ponte Bibei (Ourense)

Esta línea de actuación y de contenidos de ese deseable *corpus* es la que he seguido en la elaboración de varios capítulos de la tesis, con una relativa brevedad en cuanto a los datos de tipo histórico. He incidido más en los aspectos cartográficos, constructivos y técnicos ya mencionados, posiblemente influido por mi formación técnica, y por considerarlo más interesante, pues además de ser escasos los trabajos que tratan sobre aspectos diversos de la historia constructiva de los puentes romanos, cuya fábrica es, en la mayoría de las ocasiones, la única fuente documental a la que podemos acudir, se ha intentado superar la metodología aplicada hasta ahora al estudio de estas obras, casi siempre realizada con criterios históricos y arqueológicos. La incorporación de los profesionales de la ingeniería de obras públicas ha sido demandada por algunos historiadores y arqueólogos, que reconocen que determinados "...

campos de estudio y las dificultades que se presentan al arqueólogo y para las que querríamos contar con la ayuda de los ingenieros que resuelvan si pueden algunas de nuestras muchas limitaciones, son excesivos.”⁶

Normalmente el estudio de los puentes romanos ha sido incluido en trabajos más amplios realizados en el ámbito de la historia, de la arqueología y de la arquitectura, y casi siempre se limita a una simple descripción, acompañada, no siempre, de una recopilación de las notas que sobre ellos nos han dejado antiguos viajeros y cronistas, y un compendio histórico de los sucesos destructivos y reconstructivos experimentados. El ejemplo más frecuente de esto, son los estudios de la red viaria romana, que incluyen, por lo general, unas breves notas sobre este tipo de obras, pues son parte fundamental del estudio del trazado ya que son puntos fijos de paso. Sin embargo la necesidad que, en algunas ocasiones, tienen los autores de ese tipo de trabajos para justificar los trazados que proponen, les ha llevado a señalar como romanas obras que nada tienen que ver con esta época.

Los puentes son obras en las que, independientemente de su estado de conservación, no se pueden emplear los métodos habituales del trabajo arqueológico. El ser por un lado estructuras ingenieriles o arquitectónicas y por otro formar parte del llamado Patrimonio Histórico, ha provocado su inclusión en un campo de “no estudio”. El escaso conocimiento del comportamiento estructural y del funcionamiento hidráulico de estas obras de ingeniería, la falta absoluta de tratados específicos hasta principios del XVIII - no pasó lo mismo con la arquitectura - y porqué no decirlo, la falta de aprecio que las Bellas Artes han sentido históricamente por las obras utilitarias en general, ha apartado su estudio del ámbito de estudio de los historiadores y arquitectos, no existiendo, hasta hace unos años, otro tipo de profesional que les dedicase su interés y estudio. La inclusión de la enseñanza de la Historia de la Ingeniería Civil y de la Construcción en los planes de estudios de algunas escuelas técnicas de ingeniería y de arquitectura, mejorará este panorama al poder despertar en estos nuevos ámbitos el interés por las obras públicas en general y los puentes en particular.

Son, por tanto, muy escasos los estudios de puentes con una buena metodología que incluya, además de la recopilación de los datos históricos - lo más frecuente -, todas aquellas mediciones, los análisis y estudios que permitan obtener una precisa cartografía, el conocimiento técnico-constructivo de la obra, su comportamiento estructural y su funcionamiento hidráulico. Estas carencias, desde mi punto de vista, han minusvalorado la mayoría de los buenos trabajos existentes, que tratan sobre los puentes antiguos, pues los pocos aspectos estudiados, limitados muchas veces a un único puente o a los de una determinada zona y la inexistencia hasta hace algunos años de estudios de tipo general, no han permitido avanzar en el logro de una sistematización de los puentes antiguos. No existe un proceso que, apoyado en la existencia de ciertas características en el puente objeto de estudio, permita conocer si pertenece a una época o a otra de un modo fiable, o por lo menos con una

6 Martín Bueno, M: “Problemas generales en el estudio de los puentes romanos”. Cuadernos de San Benito. Primer Seminario Internacional Puente de Alcántara”. Tomo 1. 1989.

determinada probabilidad. Desdichadamente todavía es frecuente la confusión de atribuir como romanos, muchos puentes medievales o modernos.

Es objetivo de esta tesis avanzar en este aspecto y en el capítulo 11 se aporta un intento de sistematización de los puentes romanos de *Hispania*, que ayudara en la difícil tarea de descubrir si un determinado puente peninsular es de época romana, en función de la presencia de unas determinadas características dimensionales, formales y constructivas. Es evidente que no se trata de un procedimiento definitivo pero sin duda es un primer paso para poder objetivar la datación de la construcción de un puente antiguo; permitirá dar una opinión sobre ese tema, de modo que no se base exclusivamente en la opinión del estudioso y en su exclusiva experiencia o sensación.

1.2.- Metodología adoptada

Ya hemos manifestado el insatisfactorio nivel de los estudios de los puentes romanos de *Hispania*, en los que detectamos sobre todo una reducida toma de datos y un escaso análisis de sus fábricas. La metodología empleada en esta tesis ha tratado de suplir estas carencias por lo que se ha basado fundamentalmente en tres procesos o fases: la primera ha sido la



Trabajos de campo durante la medición del arco central de Ponte Bibei.

elaboración de una lista de puentes notoriamente romanos y en la búsqueda de la mayor información posible sobre ellos; la segunda se ha centrado en la toma de datos del puente y en el levantamiento topográfico de cada puente, y la tercera y última se ha concretado en la realización de los planos, en el análisis dimensional-constructivo y estudio de los datos recogidos. Para los puentes de Gallaecia se completó con el estudio de la estabilidad de las bóvedas de mayor luz de cada puente y de su comportamiento hidráulico frente a una gran avenida.

En la primera fase hemos acotado nuestro ámbito de estudio a una lista de puentes romanos de *Gallaecia* y del resto de *Hispania*, que no ofrecían dudas sobre su origen, de los cuales se ha buscado la mayor cantidad de información publicada, aunque

no en los archivos salvo algunos planos antiguos (del Ponte Bibei en el Archivo del Reino de Galicia, de los puentes del Diablo de Martorell y de Alcántara en la Biblioteca Nacional y de algunos puentes extremeños del Gabinete de Dibujos de la Real Academia de Bellas Artes de S. Fernando).

La segunda fase de la tesis se ha centrado en la aproximación directa a los puentes elegidos, que hemos visitado, medido y observado, indagado sus singularidades y analizado los elementos formales así como las fábricas y su aparejo, durante varios viajes en distintas épocas, a lo largo de estos últimos años. Con las estancias a pie de puente, se ha intentado extraerle la mayor cantidad de información, no regateando esfuerzos. Nos la ha ido entregando poco a poco, por lo que este proceso de toma de datos requirió de nuestra presencia en varias ocasiones en todos los puentes. Esta fase de la tesis fue muy satisfactoria, quizá por el hecho de tener una formación técnica que me facilitó la comprensión de los aspectos territoriales, constructivos, estructurales, geotécnicos e hidráulicos de este tipo de obras, y que nos han permitido extraer las conclusiones que se han recogido en este trabajo.

En la fase de gabinete, última del proceso de elaboración, se han realizado en primer lugar planos, a escala, de la planta y un alzado de la mayoría de los puentes incluidos en la tesis. En algún puente arruinado (Ponte de S. Miguel), parcialmente reconstruido (puente de Segura) o muy reconstruido (Ponte Vella de Ourense y Romana de Lugo) se ha realizado una reconstrucción hipotética de como debió ser el puente romano original. Se recopiló de cada puente de *Hispania* en general y de *Gallaecia* en particular, la mayor cantidad de datos publicados, cuyos títulos figuran en la bibliografía final, seleccionando algunos datos interesantes que complementasen algunos de nuestros análisis u observaciones. Como se aprecia en el índice se han incluido unos capítulos previos en los que se ha tratado de situarlos en un territorio, en un tiempo y en un determinado ámbito de profesionales que poseyeron los conocimientos teóricos y prácticos suficientes, sobre composición y construcción, que les permitieron proyectar y construir con una técnica muy uniforme y de gran calidad, muchos puentes a lo largo y ancho de todo el Imperio. Las características formales, los materiales empleados, la composición general y los problemas derivados de la implantación fueron analizados en el capítulo 4.

En el capítulo 5 se hizo un análisis dimensional de los puentes romanos de *Hispania*, dieciséis obras con distintos grados de conservación, desde uno prácticamente desaparecido como el puente de Aljucén del que sólo quedan algunos sillares dispersos, hasta otros bien conservados como el puente de Segura. Con objeto de sistematizar los puentes romanos de *Hispania* a partir de los ejemplares conservados se estudiaron las características formales y constructivas, las relaciones entre diversas dimensiones básicas y se realizaron algunos estudios estadísticos. En el análisis del ancho de las bóvedas se ha considerado una muestra relativamente grande que incluía puentes de *Hispania*, Italia y Francia. En el estudio del resto de las singularidades o características de tipo formal se tomaron muestras que sólo incluían los puentes de *Hispania*.

En los capítulos 6 y 7 se analizaron diversos elementos territoriales, poblacionales e infraestructuras del transporte de aquella época, exclusivamente en *Gallaecia* por no extenderme en exceso, tales como el relieve, el clima, la extensa red fluvial, los pasos y

corredores naturales, los centros urbanos y militares, el transporte marítimo-fluvial y sus infraestructuras, y la red de los caminos o vías principales conocidas.

En el capítulo 8 se analizaron los puentes romanos de *Gallaecia*, unos bien conservados, como Ponte Bibei o Ponte Freixo, otros parcialmente conservados como el tramo romano del puente de Ponte de Lima y con pocos vestigios de la fábrica original como Ponte Navea o el probable puente de madera de A Pontóriga.

Finalmente se incluyeron dos capítulos, el 9 en el que se han recogido los estudios hidráulicos de los puentes de *Gallaecia* al paso de una gran avenida de un período de retorno alto como corresponde a una obra de antigua construcción, que pudo haberla sufrido, y el 10 donde se ha analizado la estabilidad de los arcos de mayor luz de los puentes de *Gallaecia*.



Vista parcial del alzado aguas arriba del puente de Colloto (Asturias).

No se ha profundizado en la datación de estas obras, ni tan siquiera en la mayoría de ellas la he tenido en cuenta, ya que es una cuestión muy especulativa debido a la inexistencia de estudios histórico-estilísticos, que no permite que se conozcan la evolución, desarrollo o cambios que razonablemente experimentó la construcción de puentes durante los seis o siete siglos que duró la que llamamos época romana. Se complica más si tenemos en cuenta que, en esa época, ya se realizaron reconstrucciones y/o ampliaciones en algunos puentes, como en el tramo izquierdo del puente de Mérida. Para tratar de avanzar en este sentido, Carlos Fernández Casado estableció en los años sesenta, las pautas de la evolución de aspectos formales de algunos elementos compositivos, como los tajamares, de determinadas relaciones dimensionales como la que parece hallarse entre el tamaño del vano y el espesor de las pilas, y de la directriz de los arcos. La existencia en un puente de un tajamar redondeado le hacía ser proclamado augústeo, así como una relación luz vano/espesor pila en torno a 1 o 1,5. En cambio el puente era tardío si tenía arcos rebajados. Estudios posteriores han invalidado muchos supuestos sobre los que apoyó su cronología.

Podría pensarse que la relación de un puente con una vía determinada cuya fecha de construcción fuese conocida (p.e. la *Via Nova*, nº 18 del Itinerario de Antonino, construida en el año 80 d.C.) facilitaría su datación. Pero tampoco este recurso resulta válido ya que pudo haber existido un primer paso provisional contemporáneo de la vía ejecutado con madera que, un período de tiempo después, fue sustituido por otro más firme y duradero ejecutado con piedra, que es el que se conservó.

Es indudable que en el futuro deberá abordarse este tema, para lo que se tendrán en cuenta futuros estudios avalados por arqueólogos y historiadores de la construcción, que permitirán datar un puente romano y diferenciar los diversos momentos constructivos, que en la actualidad sólo podemos sospechar. En la actualidad con la práctica inexistencia de este tipo de trabajos, realizados sobre el propio puente o en su entorno, es muy difícil esa datación. Sucede lo contrario cuando se analiza al puente con criterios y métodos arqueológicos, como se hizo durante las obras de consolidación del Ponte Freixo (Ourense) llevadas a cabo hace unos años, en las que se excavaron los rellenos entre los tímpanos con un control arqueológico, que permitió hallar diversos restos entre los que destacó un trozo de columna honorífica o miliario tardío, que por la fórmula empleada en el texto conservado y por el tipo de letra, se dató en el siglo IV d.C. Otro ejemplo es el hallazgo de un tesorillo de monedas romanas en el puente de Colloto (Asturias)⁷. Aunque los casos son distintos pues el Ponte Freixo es un puente nítidamente romano y el puente de Colloto plantea serias dudas, no podemos asegurar, a pesar de estos hallazgos, que el primero de los puentes fuese construido en época bajoimperial ni que el segundo sea romano.

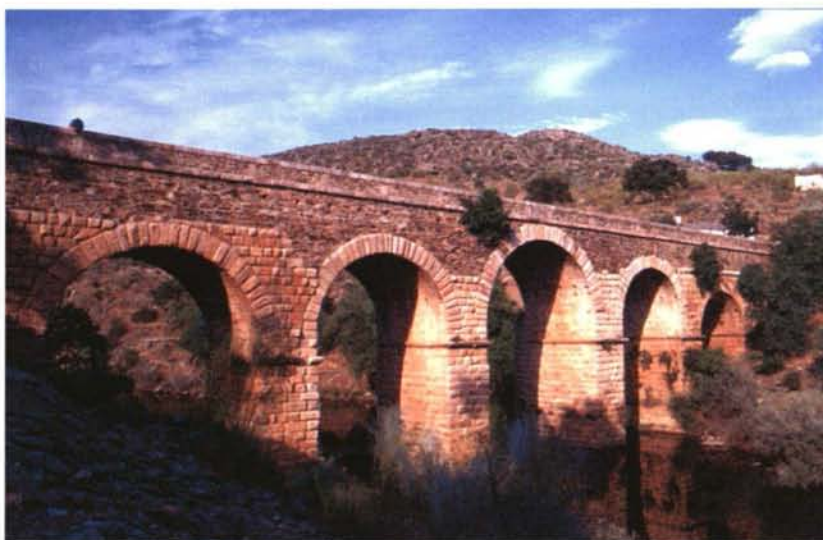
1.3.- Medición de los puentes y elaboración de planos.

Una de las aportaciones más interesantes que creemos haber hecho es la de haber incorporado la planta y el alzado de la mayoría de los puentes estudiados, una vez medidos con bastante rigurosidad. Se ha tratado de aportar una documentación fidedigna que reprodujese con la mayor fidelidad los puentes romanos conservados, que faltaba en la mayoría de los trabajos que sobre estas obras han sido publicados hasta hoy, de la que daremos cumplida referencia más adelante. Como decía hemos realizado una rigurosa medición que aparte de proporcionarnos las dimensiones (en coordenadas X, Y y Z) que fueron la base de la elaboración de los respectivos planos, nos ha sido muy útil para apreciar los detalles y singularidades que presentan los puentes estudiados. Los viajeros de verdad saben mucho de esta cuestión, pues reconocen en la cámara fotográfica a un enemigo mientras que en un cuadernillo, un lápiz, y el tiempo que se precise, a sus mejores aliados.

El análisis detallado de la forma, de la fábrica y de los detalles constructivos de los puentes elegidos nos ha permitido conocer la parte de su historia que no se halla escrita en ninguna parte o que todavía está esperando en archivos y bibliotecas a que sea extraída de la multitud de legajos que en ellos se conservan. Algo de esto nos pasó cuando se procedió a la medición

⁷ Rodríguez Otero, V.: "El puente romano de Colloto (Asturias)". *Revista Zephyrus*, Universidad de Salamanca, XLVI, 1994.

y estudio del puente de Segura en una de nuestras visitas, en junio de 1996. Observamos distintas fábricas pues se apreciaban discontinuidades, labras diferentes y con distinto nivel de desgaste, patinas de diferente color, marcas medievales en algunas bóvedas, etc. que nos hicieron pensar en la reconstrucción de los tres arcos centrales y un posible desplazamiento de una de sus pilas, que había modificado la disposición original de época romana. Estas conclusiones fueron expuestas en la ponencia presentada en el Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción (Madrid, septiembre de 1996). Nuestras observaciones y conclusiones se han visto confirmadas posteriormente por la publicación de ciertos datos extraídos de documentación antigua, que mencionan una reconstrucción del puente llevada a cabo en el siglo XVI, después de haberse arruinado por una gran crecida.



Alzado aguas abajo del puente de Segura donde se ven distintas reconstrucciones

La mayoría de los trabajos publicados carecen de planos a escala, con expresión de las principales dimensiones del puente, elaborados a partir de una precisa medición topográfica como en nuestro caso (siempre difícil y costosa), o de una fotogrametría, base de la mayoría de los planos publicados. Sólo en algunos de los trabajos que publicó Carlos Fernández Casado (1980), José María Álvarez Martínez (1983), Jesús Liz Guiral (1988) y el equipo de ingenieros que realizamos un estudio sobre puentes históricos de Galicia (Alvarado, Durán y Nárdiz, 1989), se aportan planos a escala, mientras que en el resto de las publicaciones se adjunta un simple dibujo o croquis de la planta y del alzado, con un tamaño muy reducido, sin acotar o con una simple escala gráfica, que malamente permite conocer sus dimensiones. En otros casos los datos aportados se limitan a una simple descripción de las dimensiones principales, que muchas veces son aproximadas cuando no erróneas, ya que la toma de datos es, en muchos casos, difícil o casi imposible si no se emplean procedimientos especiales. Si no se menciona expresamente este carácter de "medidas estimadas" o "aproximadas", se inutiliza esta base documental y se propaga la inexactitud en el tiempo y en el espacio, ya que serán recogidos en otras publicaciones posteriores que verán así mermado su interés y mérito.

Como ya se ha mencionado la medición de un puente exige en muchos casos, sobre todo si se realiza topográficamente, el empleo de medios auxiliares extraordinarios. El propio tamaño del puente, su ubicación en lugares de difícil acceso con riberas escarpadas y el propio río frecuentemente de aguas profundas en el entorno del puente (por aquello de la socavación) con caudales abundantes y rápidos en algunas épocas del año, y no siempre cristalinas más bien, desgraciadamente, bastante contaminadas, etc. son realidades con las que nos hemos encontrado en la mayoría de los puentes estudiados. En algunos casos hemos tenido que recurrir a esos medios, como por ejemplo en la medición de los puentes de Chaves, Caparra, Vila Formosa, etc., pues nos tuvimos que meter en el río provistos de trajes especiales de neopreno para acceder a las pilas del puente, ya que no era posible de otro modo, o ha descolgar a un especialista en montaña, con las oportunas cuerdas, cables y arneses, en la medición de los arcos y pilas del Ponte Bibei. Estos medios se emplearon como alternativa a los levantamientos fotogramétricos, siempre difíciles de realizar ya que se debe recurrir a empresas especializadas no siempre disponibles y muy caras.

CAPÍTULO 2.- ESTUDIO Y CONOCIMIENTO DE LOS PUENTES ROMANOS: ESTADO DE LA CUESTIÓN.

2.1.- Apuntes de la historia reciente de las actividades en pro del conocimiento de las obras públicas históricas en España.

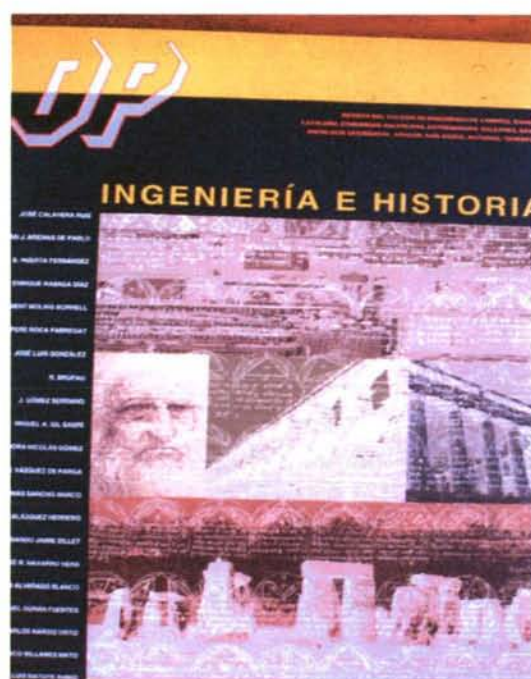
Como expresaba en la ponencia que presenté en el Primer Congreso de la Historia de la Construcción⁸ el estudio de los puentes históricos en España no ha ido más lejos de una sencilla descripción tipológica, con aportación, exclusivamente, de datos de tipo histórico, sin apenas referencias a sus aspectos constructivos. Otros autores, como el profesor Manuel Martín Bueno en el Primer Seminario Internacional Puente de Alcántara (1986) o Jesús Liz Guiral en su libro "Puentes romanos del convento jurídico Caesaraugustano", han manifestado que el estudio de este tipo de obra no ha seguido el ritmo de avance y progreso experimentado por la metodología aplicada a las Ciencias de la Antigüedad, pareciéndoles incluso que se había estancado hace muchos años. Termina diciendo textualmente: "Ya va siendo hora de que nos interroguemos por las causas de la impotencia de nuestra metodología para lograr resultados satisfactorios".

Para corregir estas deficiencias metodológicas es necesario, desde mi punto de vista, que se vayan incorporando a este tipo de estudios históricos de las obras públicas y de la historia de la construcción en general, profesionales de la Ingeniería Civil y de la Arquitectura, que hasta hace poco tiempo no habían mostrado interés por ellos, manteniéndose al margen, y que por sus conocimientos específicos pueden contribuir eficazmente a superar las limitaciones expuestas. Es el caso de los ingenieros de caminos que, a pesar de que desarrollaron una gran actividad en el ámbito de los estudios históricos de las obras públicas a finales del siglo XIX y comienzos del XX - recordemos a Eduardo Saavedra, Pablo Alzola, Celestino Espinosa y Manuel Díez Sanjurjo -, su presencia ha sido y es muy reducida. La tendencia parece que está cambiando y este tipo de profesionales está incrementando su interés e incorporándose a este tipo de estudios históricos, gracias, entre otras, a la pionera labor de investigación y estudio de la Cátedra de Estética de las Obras Públicas de la ETSICCP de Madrid, que estuvo bajo la dirección de José Antonio Fernández Ordóñez, de Carlos Nárdiz Ortiz en la ETSICCP de la Universidade de A Coruña, impulsor del estudio e investigación de la red viaria histórica de Galicia y de su transformación, cuyos trabajos han permitido disponer de una valiosa cartografía histórica informatizada, y de todos los profesores de las asignaturas que se imparten en las distintas escuelas de Ingeniería de Caminos de España sobre los aspectos estéticos, sociales e históricos de la ingeniería civil, como Mercedes López (Madrid), Salvador Tarragó (Barcelona), Rafael Ferrer (Santander), Ignacio González Tascón (Granada) y el que estas palabras escribe (A Coruña), contribuyendo a despertar y a incrementar el interés sobre estos aspectos de las nuevas promociones de profesionales.

⁸ Durán Fuentes, M. "Puentes romanos peninsulares: Tipología y construcción". Actas del 1er Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Instituto Juan de Herrera-CEHOPU. Madrid, 1996.

Ha sido y es muy importante la labor de difusión de la colección "Ciencias, Humanidades e Ingeniería" del Colegio de Ingenieros de Caminos, y los artículos que periódicamente aparecen en la veterana Revista de Obras Públicas. Pero sin duda el gran hito que ha significado un antes y un después de la investigación, estudio y publicación de los trabajos sobre la Historia de la Ingeniería Civil, de la Arquitectura y de la Construcción, es la constitución en julio de 1983 por parte de entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, de la Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU) que ha tenido y tiene hoy día una enorme presencia en ese ámbito.

Hay que destacar la reciente creación de la Asociación Española de Historia de la Construcción por la Escuela de Arquitectura de Madrid, el Instituto Juan de Herrera y el CEHOPU y la celebración de los tres Congresos Nacionales de Historia de la Construcción, el primero de ellos en Madrid en septiembre de 1996, el segundo en octubre de 1998 en A Coruña y el más reciente celebrado en Sevilla en octubre de 2000, así como la puntual publicación de las actas del congreso antes de su inicio. Esta asociación y los congresos que promueve son un nuevo ámbito donde se exponen y se dan a conocer estos temas muy poco desarrollados en España, integrando a los distintos profesionales que a ellos se dedican, creando un foro común, que ayudará a superar de una vez las tenues y a la vez espesas



Portada de la revista OP, nº 38,
"Ingeniería e Historia I".

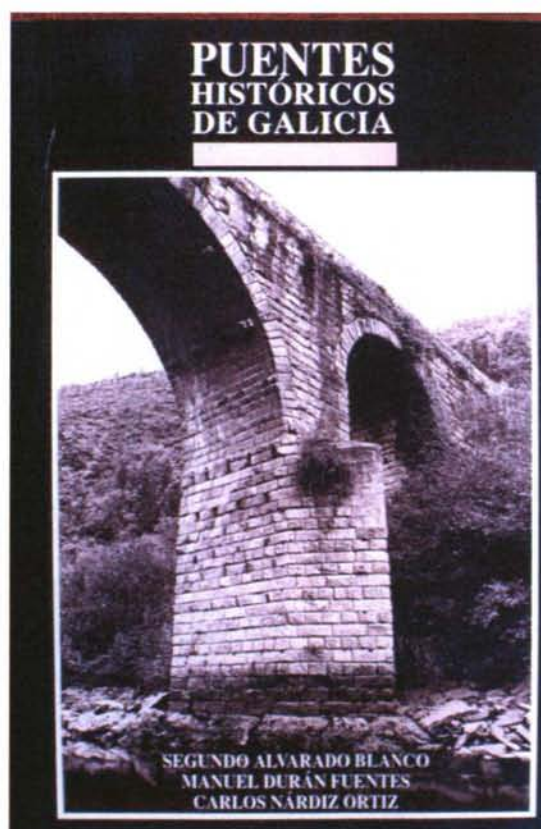
fronteras que han impedido la relación interprofesional de arquitectos, ingenieros e historiadores, que individualmente han trabajado, con sus diferentes puntos de vista, en la historia de la construcción. La experiencia que he tenido recientemente en el estudio y rehabilitación de una vía romana en Galicia, en el que hemos trabajado estrecha y cordialmente ingenieros de caminos y arqueólogos, me permiten contemplar las colaboraciones interprofesionales con optimismo, creyendo firmemente que no será posible en el futuro abordar algunos trabajos desde la limitación de un único punto de vista profesional.

La revista O.P. que edita el Colegio de Ingenieros de Caminos, en la demarcación de Cataluña, ha publicado estos últimos

años algunos números en los que se han incluido diferentes artículos sobre temas históricos de la ingeniería civil. Concretamente los titulados "Puentes I, II y III, "Ingeniería e Historia I" (coordinado por el que esto escribe) y "El Patrimonio de la Obra Pública I y II", han recogido en sus páginas estudios sobre puentes antiguos, su historia, conservación y restauración.

2.2.- Trabajos y publicaciones recientes sobre puentes históricos.

Como podemos apreciar no son muy numerosos los trabajos que se ha llevado a cabo sobre este tema en general o sobre algún puente en particular. A lo largo de los años ochenta y noventa se realizaron estudios, inventarios y catálogos en los que se recogieron los puentes históricos construidos en ámbitos territoriales más o menos grandes, generalmente provincias y comunidades autónomas. Dentro de estos trabajos cito en primer lugar el inventario de los puentes históricos de Galicia construidos antes de 1940, realizado por los ingenieros de caminos Segundo Alvarado Blanco, Manuel Durán Fuentes, Carlos Nárdiz Ortiz y Rafael Astor Casallerrey, y la etnóloga Begoña Bas, para la Consellería de Cultura de la Xunta de Galicia en 1985. Con base en ese inventario se elaboró, dos años más tarde, por los tres ingenieros mencionados en primer lugar, un catálogo de los cincuenta puentes más interesantes desde el punto de vista monumental, histórico, de conservación y simbólico, repartidos por las cuatro provincias gallegas. Este catálogo y un anexo con el inventario corregido y aumentado de 1985, fueron publicados en 1989 conjuntamente por la Xunta de Galicia y la Demarcación de Galicia del Colegio de Ingenieros de Caminos⁹.



Portada del libro "Puentes Históricos de Galicia"
(Alvarado, Durán, Nárdiz, 1989).

Se incluyeron los cincuenta puentes del Catálogo, de los cuales se aportó su situación territorial y el camino al cual daban servicio, los datos históricos que fueron extraídos de publicaciones (no se extrajeron datos de otras fuentes documentales como archivos o depósitos) y una descripción detallada de la obra, en la cual se reflejaba el estado de conservación. Se hizo una completa medición de cada puente y un preciso plano de planta y alzado que, reducido, se incluyó en la publicación. Además en las consideraciones generales del prólogo se estudió de un modo general la red viaria histórica de Galicia y su transformación así como las características generales de construcción y su financiación de los puentes antiguos.

En 1989 también se publicó, dentro de la Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería del Colegio de Ingenieros de Caminos, el "Catálogo de puentes anteriores a 1936: León", realizado por J.A. Fernández Ordóñez, Tomás

Abad y Pilar Chías, con base en los trabajos de catalogación realizados algunos años antes, por la Cátedra de Estética de la Ingeniería de la ETSICCP de Madrid. Desgraciadamente no parece haberse cumplido la voluntad expresada por Fernández Ordóñez en el prólogo, de publicar un catálogo provincial cada seis meses, pues desde aquellas fechas no se ha realizado ninguno más, y cuyo conjunto habría sido, en palabras de José María Ballester, Jefe de la División de Patrimonio y Políticas Urbanas del Consejo de Europa, un verdadero "Madoz" de nuestro tiempo¹⁰. Contiene un estudio singularizado de cada puente, detallando la situación, su historia y describiendo sus elementos más importantes, acompañado de algunas fotografías y de un croquis, realizado a mano alzada, donde se indican las dimensiones más importantes.

Un trabajo limitado a los puentes construidos en Castilla y León entre 1575 y 1650, fue publicado en 1992, y realizado Miguel Ángel Aramburu-Zabala Higuera¹¹. En él se recogen y mencionan numerosos puentes de estas regiones, clasificados por provincias, de los que sólo aporta datos sobre la red caminera de la que formaban parte y sobre la historia de su construcción, destrucciones y reconstrucciones. Es exclusivamente un trabajo de tipo histórico, basado en datos extraídos de diversos archivos, que no trata de los aspectos técnico-constructivos de los puentes quizá debido a su especialidad de historiador de arte.

En la Comunidad de Euskadi se han elaborado en estos últimos años y por distintas administraciones, inventarios y catálogos de los puentes allí conservados. El primero en aparecer ha sido el elaborado para la provincia de Bizkaia, publicado en 1992 por el Departamento de Cultura de la Diputación Foral de Vizcaya, compuesto por 486 fichas de puentes clasificados por ayuntamientos¹². En 1994 el Gobierno Vasco editó el "Catálogo de puentes de Gipuzkoa anteriores a 1900" realizado por Julio Núñez, que recoge un catálogo de 133 puentes y un sucinto inventario de 371 (no se incluyen los construidos para el ferrocarril). En el catálogo se identifica cada obra, se aportan las dimensiones más importantes, la forma de algunos de sus elementos (rasante, arcos, tajamares y espolones) y finalmente una pequeña historia del puente¹³. El correspondiente a la provincia de Álava fue realizado por el Departamento del Gobierno Vasco y publicado en 1996. Se trata del inventario de más de 300 puentes realizado por A. Azcárate y V. Palacios, que con unos criterios de datación muy claros - que coinciden básicamente con planteamientos realizados en esta tesis sobre la abusiva catalogación como romanos de puentes de otras épocas relativamente modernos - exponen en textos cortos la historia y descripción de algunos puentes, los más importantes, acompañados de una ficha con sus dimensiones más características¹⁴.

9 Alvarado Blanco, S.; Durán Fuentes, M y Nardiz Ortiz, C.: "Puentes históricos de Galicia", Xunta de Galicia-Colegio de Ingenieros de Caminos, Santiago, 1989.

10 Fernández Ordóñez, J.A.; Abad Balboa, T.; Chías Navarro, P.: "Catálogo de puentes anteriores a 1936: León". Colegio de Ingenieros de Caminos-CEHOPU. Madrid, 1988.

11 (11) Aramburu-Zabala Higuera, MA.: "Arquitectura de puentes en Castilla y León 1575-1650". Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León. Valladolid, 1992.

12 "Puentes de Bizkaia". Diputación Foral de Bizkaia. Departamento de Cultura. Bilbao, 1992.

13 Núñez, J.: "Catálogo de puentes de Gipuzkoa anteriores a 1900". Departamento de Cultura del Gobierno Vasco. Bilbao, 1994.

14 Azcárate Garai-Olaun, A.; Palacios Mendoza, V.: "Puentes de Álava". Departamento de Cultura del Gobierno Vasco. Bilbao, 1996.

De los puentes históricos de Cataluña se ha realizado el inventario de los construidos hasta el siglo XVIII, que forma parte del Inventario General del Patrimonio Arquitectónico de Cataluña, y que ha sido confeccionado siguiendo el modelo de fichas del IPCE (Inventario del Patrimonio Cultural Europeo) empleado en otros países de Europa. También en Extremadura se ha estado realizando estos últimos años, desde 1995, un inventario de todos los puentes de esta comunidad autónoma muy completo, todavía sin publicar, que ha sido llevado a cabo por un equipo del Laboratorio de Caminos de la Escuela de Obras Públicas de la Universidad Politécnica de Cáceres, bajo la dirección del ingeniero Máximo Cruz Sagredo.

En 1994 se publicó "Els ponts valencians antics" de Carme Sanchís Deusa, en el cual esta autora escribe sobre la historia de los puentes antiguos existentes en diversos recorridos viarios de la provincia de Valencia. Es un libro divulgativo que no aporta mediciones ni planos¹⁵.

A lo largo de estos últimos años han aparecido varias publicaciones, de carácter divulgativo, que merecen ser destacadas. La primera es el número extraordinario de la revista MOPU, nº 345, titulado "Guía de los puentes de España", correspondiente a julio-agosto de 1987, en el que se incluye el magnífico artículo de Juan García Hortelano titulado "El vuelo constante" donde nos dice en magnífica metáfora que "el puente es el primer ingenio que permite al hombre volar" y que "el puente, en la teología de la obra pública, representa una corrección a la creación divina que pide reparación". Varios autores, siguiendo un criterio cronológico, escribieron de forma literaria sobre diversos puentes de los que no todos corresponden al marco temporal en el que fueron incluidos¹⁶. La segunda publicación es el libro editado en 1994 por la empresa constructora FCC, basado en textos y fotografías de Pilar Chías Navarro y Tomás Abad Balboa, con el título "Puentes de España"; se trata de una antología de cien puentes de todas las épocas, elegidos de acuerdo con los cinco criterios establecidos por José Antonio Fernández Ordóñez en el encuentro del Consejo de Europa de Lyon en 1985 para valorar las obras públicas antiguas: históricos, científicos, estéticos, simbólicos y de uso¹⁷. La tercera publicación es el libro "Puentes históricos de la Comunidad de Madrid", editado en 1989 por el Gobierno de esta Comunidad y escrito por Carmen Andrés Mateo, con carácter de aproximación y no como inventario exhaustivo de las obras situadas en este territorio. Están expuestos en fichas donde se dan los datos básicos de situación, una pequeña referencia histórica, tipología, el estado actual y las posibles intervenciones¹⁸. Otra publicación reciente es el libro "Els ponts de pedra de Catalunya", editado por la Generalitat de Catalunya a finales de 1998 y escrito por Manuel Maristany. Se trata de un magnífico libro de divulgación con buenas fotos, en el que se han incluido puentes de todas las épocas

15 Sanchís Deusa, C.: "Els ponts valencians antics". Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme y Transport. de la Generalitat Valenciana, Valencia, 1994.

16 VV. AA.: "Guía de los puentes de España". Revista MOPU, nº 345. Madrid, 1987.

17 Chías Navarro, Abad Balboa, T.: "Puentes de España". Fomento de Construcciones y Contratas. Madrid, 1994.

18 Andrés Mateo, C.: "Puentes históricos de la Comunidad de Madrid". Consejería de Política Territorial de la Comunidad de Madrid. Madrid, 1989.

construidos en Cataluña, acompañadas de un texto corto en el que incluye su situación y algún dato curioso de tipo histórico¹⁹.

Recientemente se han publicado otros dos libros sobre puentes históricos que denotan el creciente interés por estas obras patrimoniales. El primero de ellos fue publicado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, con el número 40. Se trata de un interesante trabajo de Leonardo Fernández Troyano titulado "Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes", en el que hace un recorrido por los puentes de todo el mundo, clasificados cronológicamente según los materiales empleados en su construcción y su forma estructural, y acompañados de una amplia documentación fotográfica²⁰. El segundo libro es un catálogo de puentes publicado por el CEDEX y el CEHOPU en colaboración con varias instituciones y administraciones. Es el "Catálogo de Puentes anteriores a 1800 de La Rioja", realizado por un conjunto de investigadores del Instituto de Estudios Riojanos, especialistas en Historia, coordinados por Begoña Arrúe y José G. Moya. Esta publicación sigue el formato definido por José A. Fernández Ordóñez con el Catálogo de Puentes de León, pero en este caso no ha intervenido, a pesar del amplio inventario y profusa recogida de datos que su Cátedra de la ETSICCP de Madrid tenía de esta provincia. Se trata de una obra donde se recogen numerosos puentes con una abundante aportación de datos archivísticos y que desde ese mundo de las humanidades, se adentran en el mundo de la ingeniería civil histórica con un relativo éxito. Se echa de menos una planimetría a escala correcta de los puentes, pues la planta y alzado aportados, de pequeño tamaño, no tienen acotación, solo una minúscula escala gráfica. La referencia a los caminos o rutas que por él pasaban no aparece en ningún caso, como tampoco referencias a su cimentación, su emplazamiento y a las condiciones hidráulicas del puente. Se echa de menos algunos análisis de fábricas y la lectura de paramentos de algunos puentes interesantes²¹.

En otros países de Europa hay desde hace años una bibliografía básica que aparece citada en casi todas las publicaciones de puentes históricos. Comenzando por nuestro país vecino y sin la pretensión de ser exhaustivo sino citar exclusivamente los más conocidos, destacamos las obras ya clásicas realizadas por el ingeniero francés de "Ponts et Chaussées", Jean Mesqui, la primera de ellas y la más conocida "Le pont en France avant le temps des ingénieurs"²² editada por Picard en 1986, y el "Repertoire de ponts routiers antérieurs a 1750", editada por el Ministerio de Transportes francés, y publicada en dos tomos en los que se enumeran, en la primera parte, numerosos puentes ordenados en una lista alfabética de los lugares de ubicación, acompañados de unas breves notas descriptivas; la segunda parte contiene la clasificación de esos lugares según las diversas circunscripciones administrativas²³. También tenemos las realizadas por el ingeniero Marcel Prade, entre las que destacamos en primer lugar, "Les Ponts. Monuments historiques", editada por Brissaud en 1986, que incluye un inventario de los puentes y puentes acueductos franceses declarados monumentos

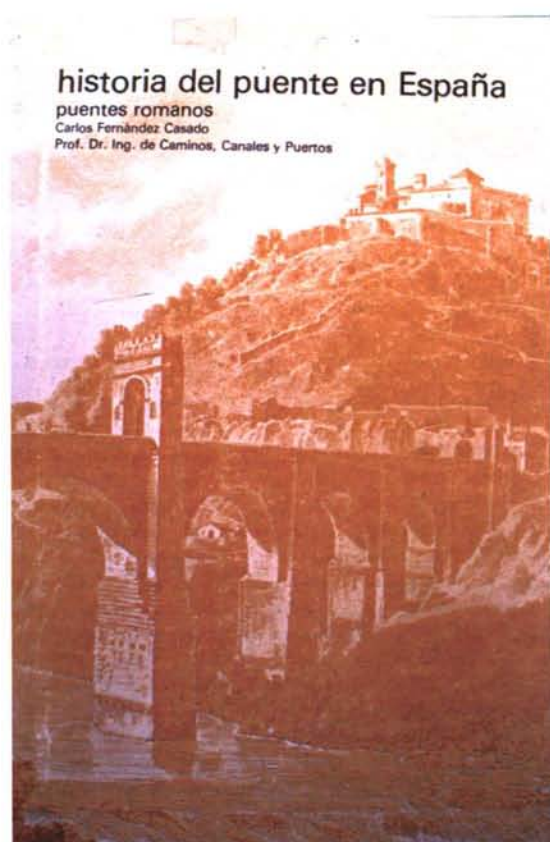
19 Maristany, M.: "Els ponts de pedra de Catalunya". Departament de la Presidència de la Generalitat de Catalunya. Barcelona, 1998.

20 Fernández Troyano, L.: "Tierra sobre agua. Visión histórica universal de los puentes". Colegio de Ingenieros de Caminos, C. y P. Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, nº 55. Madrid, 1999.

21 Arrúe Ugarte, B.; Moya Valgañón, J.G.: "Catálogo de puentes anteriores a 1800: La Rioja". Instituto de Estudios Riojanos. Gobierno de La Rioja. Ministerio de Fomento. Cedex. Cehopu. Logroño, 1998.

22 Mesqui, J.: "Le pont en France avant le temps des ingénieurs". Picard. París, 1986.

históricos, también ordenados alfabéticamente por los departamentos administrativos de Francia, con una pequeña descripción de la obra y de su historia. Se incluye una fotografía y un croquis acotado de la planta y un alzado²⁴. En segundo lugar mencionamos, de este ingeniero, la publicación titulada "Ponts y viaducs remarquables d'Europe", en la que se incluyen la descripción, la historia, croquis acotados y fotografías de los puentes más interesantes, de todas las épocas, de diecisiete países de Europa²⁵. En 1997 se publicó en Portugal el libro titulado "Pontes antigas do Concelho de Bragança", realizado por António Jorge Nunes y en el que recoge 37 puentes, más o menos antiguos, de esa parte del territorio portugués, de los cuales no clasifica como romano a ninguno, ya que no aprecia en ellos determinadas características constructivas, enumeradas en el capítulo Iº, que, desde nuestro punto de vista, son bastante acertadas en general²⁶.



Portada del libro "Historia del puente en España: puentes romanos" (Fernández Casado, 1980).

Si nos ceñimos a los trabajos y publicaciones específicas que tratan sobre puentes romanos, destacamos en primer lugar los estudios pioneros realizados por los ingenieros de caminos Celestino Espinosa, que publicó en la Revista de Obras Públicas unas breves reseñas sobre algunos puentes antiguos españoles²⁷ y, sobre todo, el maestro Carlos Fernández Casado. Este último ha sido, hasta la fecha, el mejor y más completo estudioso de los puentes y puentes-acueductos romanos conservados en España, cuyos trabajos históricos realizados desde 1955 y a lo largo de 25 años, fueron publicados en un principio como artículos para la revista "Informes de la Construcción", y posteriormente reunidos por el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento en el libro "Historia del puente en España: Puentes romanos"²⁸.

Tal como escribe en el prólogo fue mucho el tiempo que medió entre el estudio del puente de Mérida - realizado mientras se construía el nuevo puente sobre el Guadiana y que iba a liberar al romano del tráfico rodado - y la publicación del mencionado libro, motivo por el cual

23 Mesqui, J.: "Repertoire de ponts routiers antérieurs à 1750". Setra. Bagneaux, 1981.

24 Prade, M.: "Les ponts, monuments historiques". Brissaud. Poitiers, 1986.

25 Prade, M.: "Ponts et viaducs remarquables d'Europe". Brissaud. Poitiers, 1990.

26 Nunes, A. J.: "Pontes antigas do Concelho de Bragança". Joao Azevedo Editor. Mirandela, 1997.

27 Celestino de Espinosa, P.: "Reseña de varios puentes construidos en España desde la antigüedad hasta principios del siglo XIX". Revista de Obras Públicas. Tomos XXVI y XXVII. Madrid, 1878/79.

varía la calidad de los trabajos en él recogidos, pues los primeros artículos sobre los puentes de Mérida, Salamanca, Alcántara, o Alconetar son muy buenos, con amplia bibliografía, recogida de datos y magnífica descripción e interpretación de la obra, mientras que los incluidos en la segunda parte del libro, realizados a partir de algunos trabajos de alumnos de los cursos de doctorado o de las informaciones proporcionadas por colaboradores, no tienen la misma calidad y precisión, pues se trata de un compendio de puentes construidos en diversas épocas, muchos de ellos erróneamente clasificados como romanos. Sin embargo creemos que este hecho, aunque se ponga de manifiesto para evitar confusiones, no resta ningún mérito a su labor pionera, paciente y sistemática de los puentes históricos españoles, que completó con la docencia en su cátedra de Puentes de la ETS de Ingenieros de Caminos de Madrid.

Entre los trabajos que tratan monográficamente un puente, destacamos el que realizó José María Álvarez Martínez sobre el puente romano de Mérida para su tesis doctoral²⁹ y que posteriormente fue editado por el Museo Nacional de Arte Romano de esa ciudad. Se trata de un completo estudio del puente romano construido sobre el río Guadiana. Fue, posiblemente, como en otras ciudades como Ourense, el motivo y origen de la ciudad, precedido a su vez por la existencia de un vado que permitía cruzar a pie el caudaloso río y hacia el que se dirigían, probablemente, las rutas prerromanas que por allí pasaban³⁰.

Sobre el Puente de Alcántara trataron varios autores como Antonio Blanco Freijeiro, cuyo discurso de ingreso en la Real Academia de la Historia versó sobre "El Puente de Alcántara en su contexto histórico", leído el 23 de enero de 1977³¹. Otro buen trabajo sobre este puente es la tesina de licenciatura de M^a del Carmen Rodríguez Pulgar, publicado en 1992 por la Institución Cultural "El Brocense" de la Diputación Provincial de Cáceres, en la que recoge, entre otros temas, la reconstrucción realizada por el ingeniero de Caminos Alejandro Millán y Sociats entre los años 1856 a 1860³². La última publicación que monográficamente ha tratado sobre esta gran obra es "El Puente de Alcántara. Arqueología e Historia", de Jesús Liz Guiral, publicado por la fundación San Benito de Alcántara y el CEHOPU en 1988, que mencionaremos con frecuencia en esta tesis³³. De este mismo autor es un trabajo sobre los puentes romanos del antiguo convento jurídico de *Caesaraugusta*, donde incluye una relación de puentes cuya romanidad es nula, aunque el autor se cura en salud, pues llama "romano" a todo puente romano-medieval-moderno-contemporáneo que se conserve en los lugares que se suponga que había un puente de aquella primera época³⁴.

Hay que destacar lo que sobre los puentes romanos se trató en el 1^{er} Seminario Internacional Puente de Alcántara, con ponencias muy interesantes, entre otras, de Antonio Beltrán Martínez ("Los puentes romanos y su representación en las monedas"), Theodor

28 Fernández Casado, C.: "Historia del puente en España. Puentes Romanos". S.p. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1980.

29 Álvarez Martínez, J.M^a: "El puente y el urbanismo de Augusta Emerita". Tesis Doctoral mecanografiada. Editorial Universidad Complutense de Madrid, 1981.

30 Álvarez Martínez, J.M^a: "El puente romano de Mérida". Monografías Emeritenses-1. Badajoz, 1983.

31 Blanco Freijeiro, A.: "El puente de Alcántara en su contexto histórico". Discurso de ingreso leído el 27 de enero de 1977 en la Real Academia de la Historia. Madrid, 1977.

32 Rodríguez Pulgar, M^a C.: "El puente romano de Alcántara: Reconstrucción en el siglo XIX". Institución Cultural "El Brocense". Cáceres, 1992.

33 Liz Guiral, J.: "El puente de Alcántara: Arqueología e historia". CEHOPU. Madrid, 1988.

Hauschild ("Observaciones sobre técnicas y conceptos arquitectónicos de los puentes romanos en Hispania"), Christoph Rüger ("Observaciones acerca de la construcción de los puentes romanos en Renania. Técnica y función política desde Cesar hasta Honorio") y Manuel Martín Bueno ("Problemas generales en el estudio de los puentes romanos")³⁵.

Dado que la antigua *Gallaecia* se extendía por el norte de Portugal incluimos dentro de la bibliografía básica de esta tesis una reciente publicación sobre los puentes romanos de ese país vecino, que contiene un inventario de esas obras, realizado por la "Associação Juventude e Património", bajo la dirección de Paulo Mendes Pinto, con el cual se intenta dar a conocer este tipo de obras. Incluye 60 puentes con un criterio de selección poco estricto, ya que se han incluido muchos puentes, como los que se conservan en la ruta de la antigua vía 19 del Itinerario de Antonino, que no son romanos. Coincidimos con la opinión de autores portugueses de gran prestigio como Carlos Alberto Ferreira de Almeida, que reconoce un origen medieval a esos puentes, como el Ponte de Lima que se dirige hacia el norte en dirección a Valença do Minho³⁶.

Finalizamos este breve recorrido por las publicaciones sobre puentes romanos, citando algunos libros que son clásicos en esta bibliografía, como es el libro de MH. Ballance sobre los puentes de la Vía Flaminia, que contiene la relación de obras de fábrica conservadas en ese antiguo camino, con una sucinta descripción de las mismas³⁷.

Ya he comentado que con indeseada frecuencia en muchas publicaciones sobre puentes históricos se incurre en una falta de rigor manifiesta al considerar como "romanos" ciertos puentes medievales o modernos. El inconveniente no está solo en perseverar y consolidar la idea de que se conservan muchos puentes romanos, cuando en realidad no son más que puentes antiguos contruidos con bóvedas de piedra. Estos errores transmitidos de unos a otros y recogidos en las publicaciones posteriores sin la más leve crítica o análisis riguroso, provocan un estancamiento del saber e inutilizan en parte este tipo de estudios. Esto ha sucedido con las más competentes publicaciones que sobre los puentes romanos del Imperio se han escrito en los últimos años en Europa. Se trata de los conocidos trabajos de Piero Gazzola³⁸, Vittorio Galliazzo³⁹ y Colin O'Connor⁴⁰. En estas publicaciones se incluye, entre otros temas históricos, técnicos y constructivos, una relación, más o menos amplia, de los puentes contruidos en todo el Imperio Romano. O'Connor incluye al final de su libro un listado de 180 puentes en Italia, 28 en Francia, 40 en España y Portugal, 29 en el continente africano y 53 en los Balcanes y Próximo Oriente, que hacen un total de 330. Revisada la lista de los puentes peninsulares encontramos en ella algunos puentes, como el de Besalú y el de Guijo de Granadilla, cuyas fábricas actuales no son romanas. Lo mismo sucede con la obra recopilatoria realizada por Piero Gazzola, en el segundo tomo de su obra, donde incluye 293 puentes de los

34 Liz Guiral, J.: "Puentes Romanos en el convento jurídico Caesaraugustano". Zaragoza, 1985.

35 VV. AA.: "Primer Seminario Internacional Puente de Alcántara". Cuadernos de San Benito 1. Fundación San Benito de Alcántara. Madrid, 1989.

36 Mendes Pinto, P.: "Pontes Romanas de Portugal". Associação Juventude e Património. Lisboa, 1998.

37 Ballance, MH.: "The roman bridges of the Vía Flaminia". The British School at Rome. Roma, 1951.

38 Gazzola, P.: "Ponte Pietra a Verona. Ponti Romani". Dos tomos. Leo S. Olschki Editore. Florencia, 1963.

39 Galliazzo, V.: "I Ponti Romani". Dos tomos. Edizione Canova. Venecia, 1995.

cuales 27 están en España y Portugal, con inclusión de algunos como el de Trespuentes en Iruña o el Villodas de Álava en los que claramente las fábricas actuales no son romanas.

La obra más reciente, y sin lugar a dudas la mejor de las tres citadas, es la realizada por Vittorio Galliazzo que recoge en el segundo tomo un amplísimo catálogo de puentes romanos, de los que la mayoría se conservan en la actualidad y otros que han desaparecido pero de los que se tienen noticias, con una gran cantidad de datos y una buena planimetría de los más importantes. Los clasificó por zonas: en Roma, su entorno y provincia, en la que catalogó 91 puentes, el Lazio, 107 ejemplares y el resto de Italia 262. Para el resto de Europa su estudio incluye 340 puentes de los cuales 141 están en España y 13 en Portugal. De Asia y África incluye 130. En total son 931. Si nos centramos en los puentes españoles vemos que los datos han sido recogidos de la bibliografía habitual y que su falta de rigor de datación de la mayoría de los trabajos publicados sobre este tema, le ha llevado a catalogar un excesivo número de puentes cuya fábrica actual no es romana.

De este último autor hay otro conocido trabajo sobre los puentes romanos de Padua, donde describe y estudia los importantes puentes con arcos rebajados de la antigua ciudad romana⁴¹.

Además de este frecuente error de datación de la construcción, otras cuestiones deben resaltarse que se echan en falta y que son importantes. La mayoría de los trabajos publicados sobre puentes romanos españoles, ya sean inventarios, catálogos o estudios monográficos, no recogen o lo hacen de modo deficiente los aspectos constructivos ni contienen planos de planta y alzado en los que consten con precisión y rigor las dimensiones más importantes. Una justificación a estas deficiencias podemos tenerla en el hecho de que la mayoría de estos trabajos, meritorios evidentemente, lo realizan historiadores o arqueólogos con escasos conocimientos técnicos-constructivos. Así la llamada Alcantarilla de Mérida la estudiaron Carlos Fernández Casado y J. M^a Álvarez Martínez. Es Fernández Casado quien, como ingeniero civil, describió mejor los aspectos constructivos del puente, pero en ambos falta una interpretación constructiva a fondo, ya que no dicen nada sobre la técnica empleada en la ejecución de la única bóveda de ladrillo y boquillas de piedra, ni explican porqué es mayor el espesor en el tercio central, ni aportan el tamaño del ladrillo empleado, ni citan la clave de hormigón de cal ni porqué fue ejecutada con este material.

40 O'Connor, C.: "Roman Bridges". Cambridge University Press. Cambridge, 1993.

41 Galliazzo, V.: "I ponti di Padova romana". Cedam, Editrice Dott. Antonio Milani. Padua, 1971.

CAPÍTULO 3.- LAS FUENTES CLÁSICAS PARA EL ESTUDIO DE LOS PUENTES ROMANOS.

3.1.- La existencia de la proporción y el módulo.

Es evidente que algunos de los puentes estudiados no conservan su estructura original por causas diversas (destrucciones y posteriores reconstrucciones, asentamientos, desplazamientos, etc.), por lo que habrán variado las medidas originales. Por este hecho resulta ineficaz estudiar su trazado arquitectónico y tratar de buscar las posibles relaciones entre las dimensiones principales, pues es muy probable que no hayan existido nunca. Esta búsqueda, justificada por los comentarios de Vitrubio sobre las medidas de los templos y la proporción (definida como la "... conveniencia de medidas a partir de un módulo constante y calculado y la correspondencia de los miembros o partes de una obra y de toda la obra en su conjunto"⁴²) y en la necesidad de los arquitectos del uso de la aritmética y de la geometría para descifrar los difíciles problemas de la simetría (Vitrubio, I, 1, p. 60), ha resultado infructuosa en la mayoría de los puentes, aunque pensamos, *a priori*, que este tipo de obras también puede responder a determinadas condiciones de diseño como hacían en otras edificaciones, cuyas partes debían guardar ciertas proporciones, como el foro (Vitrubio, V, 1), la curia (Vitrubio, V, 2), o los teatros (Vitrubio, V, 6). Sólo en dos puentes hemos hallado ciertas relaciones entre sus dimensiones: el primero es el Ponte Freixo, estudiado por nosotros, donde la simetría formal con respecto a la pila central y la posible utilización del pie como unidad de medida, llama la atención desde el primer momento. Profundizando, hemos hallado que las luces de los vanos (dos de 4,70 m y dos de 7,70 m) parecen estar relacionadas de acuerdo con la Sección Áurea



Teatro griego de Epidauro, cuyos graderíos separados por el pasillo están relacionados según la sección áurea.

(1,618). La sección áurea ya fue utilizada por los griegos en algunas construcciones como el teatro de Epidauro, donde el graderío dividido en dos por un pasillo con diferente número de

⁴² Vitrubio Polion, M: "Los diez libros de Arquitectura". Trad. J.L. Oliver Domingo. Alianza Editorial. Madrid, 1997. P. 131 (III, 1).

filas de asientos, 34 y 21, se hallan relacionadas según la mencionada sección áurea. El segundo puente, el de Alcántara, cuyo trazado ha sido analizado por J. Liz Guiral (Liz Guiral, 1988, p.165 y ss.) parece que presenta no sólo en su propia obra, sino también en el templo y el arco honorífico, ciertas relaciones y proporciones entre sus partes, de las cuales las más importantes son las que hay entre las luces de sus arcos, por ejemplo la luz del tercer arco es el doble de la del primero (92 pies y 46 pies respectivamente), y las del primero y segundo están relacionadas, al igual que las del Freixo, según la Sección Áurea (1,618).

No hemos hallado la existencia de un módulo que bien pudo haber existido en algún caso como proyecto, como existían, de acuerdo con Vitrubio, en los templos en cuya disposición del intercolumnio, las alturas de las columnas y la dimensión del frente, se tomaba como módulo el diámetro de las columnas (Vitrubio, III, 2, p. 139 y 140). Pudo haberlo pero es difícil hallarlo por la gran dispersión de las medidas y también porque pudo perderse al replantearse la obra por el constructor y adaptarla a las condiciones naturales del sitio.

3.2.- Unidades de medida.

Parece más fácil conocer el posible empleo en los puentes de una o varias unidades de medida, pero tampoco hemos llegado a resultados concluyentes, ya que las diferencias que existen entre las dimensiones actuales y las originales, el desconocimiento de cómo fueron replanteadas y la dificultad de medirlas en algunos casos, nos lo han impedido. Esta dificultad es muy clara cuando se trata de medir las luces de las bóvedas, pues ¿dónde se debe realizar entre las juntas de los sillares o entre las caras del almohadillado?. La diferencia que se obtiene, de una forma o de la otra, es tan significativa, sobre todo en arcos de pequeño o de mediano tamaño, que los resultados obtenidos resultan poco prácticos y escasamente concluyentes. Tampoco se trata de forzar la utilización de un determinado módulo (pie, palmo, etc.) jugando con los números, como puede verse en algún trabajo y con la utilización de numerosos múltiplos y submúltiplos que justifican cualquier medida. No obstante, se ha analizado en todos los puentes estudiados la posible utilización del pie romano como unidad de medida del puente, pero sin tratar de hallar, con precisión de milímetro, su valor métrico. Marcarse esa meta, como puede verse en algunos trabajos, es inútil desde mi punto de vista, ya que si se emplean algunas de las medidas principales del puente dividiéndolas por números enteros es imposible obtener resultados que tengan una desviación típica pequeña. En alguna ocasión se han utilizado medidas fraccionarias del pie para obtener algún resultado que se aproximase a su valor teórico 0,296 metros. En el resto de los casos, por lo mencionado, no hemos profundizado aunque si destacamos, cuando nos ha parecido interesante, que algunas medidas que se presentan con cierta asiduidad, se aproximan a un número entero de un pie de 0,30 metros:

3,60 m	12 pies
4,60 - 4,70 m	16 pies
4,90 - 5,00 m	17 pies
5,80 - 6,00 m	20 pies
7,40 - 7,50 m	25 pies
10,40 m	35 pies

Un ejemplo, a nuestro entender, extremo de esto que decimos es un trabajo sobre el puente de Mérida recientemente publicado⁴³ donde la búsqueda de una modulación de los distintos elementos formales del puente le ha llevado al autor a la utilización de ocho unidades de medidas romanas, en orden decreciente de medida: *decempeda*, *passus*, *gradus*, *cubitus*, *palmipes*, *pes*, *deunx* y *semis*, a los que dio unos valores métricos de carácter local para poder justificar la modulación compositiva buscada. Como hemos dicho, con este procedimiento se puede justificar cualquier medida.

Si analizamos las dimensiones de los sillares, elementos unitarios habituales de la construcción de la mayoría los puentes romanos, podemos comprobar que no hay uno igual a otro. En el ladrillo, elemento prefabricado también habitual en la construcción romana, pero poco utilizado en los puentes de *Hispania*, las medidas son más uniformes por el empleo de moldes en su fabricación. Tratar de hallar medidas estándar en pies en los sillares empleados en la fábrica de los puentes es una operación poco concluyente, a pesar de que en algún caso, como en Ponte Freixo de nuevo, se han empleado unos sillares estándar de 1x1x3 pies en una parte de su construcción, muy uniformes. En cambio, en los ladrillos sí que hemos hallado una gran uniformidad en las piezas empleadas en la Alcantarilla de Mérida y el puente de St Albans, construido en Inglaterra, cuyas medidas son exactamente iguales⁴⁴.

No obstante parece que la unidad de medida más empleada en la construcción romana fue el pie (*pes*), sus múltiplos, el *palmipes* igual a 1¼ pies, el *cubitus* de 1½ pies, el *gradus* de 2½ pies y el *passus* de valor 5 pies, y sus submúltiplos, el *digitus* de valor 1/16 del pie y el *palmus* igual a 1/8 de pie (Blanco Freijeiro, 1977, p. 42 y ss.), y también en la construcción de los puentes. El valor métrico de pie ha sido muy estudiado y discutido, siendo el valor de 29,6 cm el más aceptado. Algunas reglas graduadas de cantero realizadas en bronce (las más exactas) se aproximan a ese valor, así como algunos grabados en estelas funerarias de artesanos que representan, entre otros instrumentos de sus oficios, reglas graduadas, aunque en algún caso su medida se aleja de ese valor, como las reglas graduadas halladas en 1981 en el yacimiento riojano de Varea⁴⁵ y en las cercanías de Toro en la provincia de Zamora⁴⁶.

43 Feijoo, S.: "Aspectos constructivos del Puente Romano de Mérida". Memoria de las excavaciones arqueológicas de 1997. Mérida, 1999.

44 Hamey, L.A. y J.A.: "Los ingenieros romanos". Edición en español de Edit. Akal. Madrid, 1990. P. 45.

45 Arias Bonet, G.: "Metrología romana: el doble pie de Varea". Revista "El miliario extravagante", nº 72. Málaga, 2000.

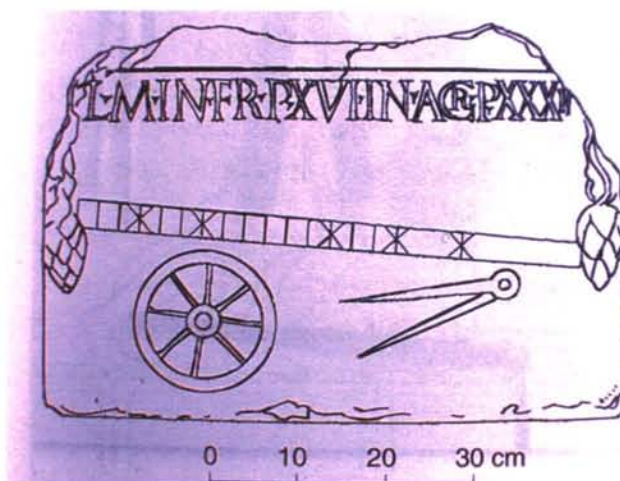
46 Arias Bonet, G.: "Repertorio de caminos de la Hispania Romana". 1987. P. 450 y ss.



Alzado aguas abajo de la alcantarilla de Mérida, con la bóveda de ladrillo.

El patrón hallado en Varea es una vara de bronce de dos piezas de un pie, dividido en 12 pulgadas a base de unas incisiones realizadas sobre ella, que miden 31 y 31,5 cm. El hallado en Toro se trata de una de las cuatro varillas que tuvo una regla plegable de un pie de largo, que una vez medida dio un valor de 30 cm. Todos los valores están, como vemos, próximos a los valores teóricos del pie romano (29,6 cm) y del pie griego (30,8 cm).

La de mayor fidelidad se ha medido en una regla grabada en una estela de un carpintero naval hallada en el cardo máximo del puerto de Ostia que tiene la longitud teórica de 29,6 cm.



Regla graduada de 2 pies grabada en una estela (J.P. Adam).

Como vemos desconocemos si había un único pie o varios, y que éstos variasen según la zona donde se empleasen o según los oficios que lo utilizasen. Ya hemos mencionado que la búsqueda de una mayor exactitud es laboriosa con los medios y datos actuales, no sólo por la calidad de las reglas encontradas sino por la diversidad de los patrones hallados. La diferencia de casi dos centímetros entre los valores conocidos del pie, representa, por ejemplo, en la luz del tercer arco del puente de Alcántara si la tomamos igual a 92 pies, una diferencia de 1,75 m. Esta es una buena prueba que justifica nuestras anteriores palabras pues la medición actual

de dicho arco es de 27,40 m que si tomamos el valor de un pie igual a 29,6 cm, tendría una medida de 92,6 pies, mientras que si lo tomamos igual a 31,5 cm, sería de 87 pies, que representaría valores muy dispares de la luz replanteada, que inutiliza, hace estéril, cualquier análisis y estudio de las proporciones entre las dimensiones y el cálculo del valor métrico de la unidad o unidades empleadas por los constructores romanos.

3.3.- Las fuentes de los conocimientos de proyecto y construcción.

Fue decisivo en el desarrollo de la cultura y la técnica del pueblo romano que germinó en el Lacio, a las orillas del Tíber, el intenso contacto con el pueblo etrusco establecido al norte, de quien se dice que aprendieron, entre otras muchas cosas y desde un punto de vista de las técnicas constructivas, a realizar arcos y cúpulas (cuestión que hay que poner en duda por los escasos arcos de dovelas que se conservan de los etruscos), los trabajos de canalización y drenaje de zonas pantanosas e insalubres y la construcción con sillares en hiladas alternas a soga y tizón (una de las características identificativas de la construcción romana en los puentes, como veremos). Sin duda su técnica constructiva era heredera de la griega, de la que aprendieron muchos procedimientos y detalles constructivos (por ejemplo la trabazón con grapas metálicas, el almohadillado de los sillares, la *anathyrosis* en la sillería, la colocación a soga y tizón en hiladas alternas, etc.), la construcción de las estructuras arqueadas, la arquitectura adintelada y parte de su ingeniería hidráulica (p.e. los sifones en las conducciones de agua), etc.

Desde el siglo XVIII se ha polemizado mucho sobre la calidad y originalidad de la construcción romana. Existió una opinión, llamada en su momento "nacionalista", que establecía que la construcción romana era heredera de la civilización etrusca (Piranesi, por ejemplo, fue un gran defensor de esta teoría). Otras sostuvieron que Roma le debía toda su tradición constructiva a Grecia. Los que apoyaron la originalidad de la construcción romana lo hicieron defendiendo la idea de la "magnificencia" pública⁴⁷, de la utilidad común de las grandes obras públicas, que dieron mucha gloria a la ciudad y al pueblo que las realizó. Las grandes obras que muestran esta magnificencia pertenecen al ámbito de las obras públicas, marcadas no tanto por la ostentación sino por la utilidad pública. Piranesi escribe en la obra citada un elogio de la Cloaca Máxima, que resume esta idea: "...allá donde menos necesidad de magnificencia parecía haber, ya que se trataba de algo oculto a los ojos de todos, mayormente quisieron mostrarla". Estas dos tesis sobre la ingeniería y arquitectura romana se enfrentaron dialécticamente muchos años, pues tuvieron a grandes teóricos que las defendieron con ardor, cuyas opiniones encontradas derivaron hacia el papel del arquitecto y cómo debía ser la arquitectura: con la obligada máxima simplicidad heredera del arquetipo natural de la mítica "cabaña primitiva", defendida por los llamados "rigoristas" que ensalzaban la arquitectura griega y relegaban a un segundo e inferior nivel a la romana, o la realizada con libertad por el arquitecto, creadora de formas de cuidada ornamentación, no como capricho o

47 Watkin, D.: "El legado de Roma. Una nueva valoración". Editorial Crítica. Barcelona, 1995. P. 11.

frivolidad, sino como aquello que le daba la posibilidad de ser arte. Esto era lo que había pasado en la arquitectura romana, elevándola a un nivel superior a la griega.

Hay que reconocer, sin embargo, la influencia griega en la construcción romana ya en la primera época republicana, evidente no sólo por sus paralelismos formales sino por otros factores a tener en cuenta:

- Muchas de las obras romanas se inspiraron en escritos y modelos de arquitectos griegos, algunos de los cuales los cita Vitrubio en el proemio del capítulo VII de su libro *De Architectura*, como autores de algunos tratados y obras que fueron su inspiración, como él mismo reconoce, cuando escribe que "... nos dejaron un grueso caudal de materiales, de donde tomando nosotros, como agua de tantas fuentes, y adaptándolos a nuestro propósito, tenemos más pronta y expedita facilidad para escribir, y apoyándonos de sus fatigas, pasamos a componer nuevos tratados". Menciona a Agatarco, constructor de escenas de teatros, "... de suerte que de una cosa fingida en las escenas pintadas, resulten apariencias de verdaderos edificios, y que las cosas dibujadas en superficies llanas y rectas, unas parezcan remotas y otras cercanas", a Sileno, que publicó un tratado sobre las proporciones, a Teodoro, a Ctesifon y Metágenes, a Sátiro y Phiteos, arquitectos del mausoleo de Artemisa, esposa del rey Mausolo, una de la siete maravillas del mundo antiguo.
- Los romanos se dedicaron sistemáticamente a expoliar el patrimonio arquitectónico griego, sobre todo en el período republicano (200 a.C. - 30 a.C.). Las guerras de Roma en el mundo griego tuvieron una gran repercusión en lo social⁴⁸ pues transformaron radicalmente las costumbres romanas cambiándolas hacia patrones helénicos. Uno de los impulsos más importantes para este cambio fue la importación de buena parte del patrimonio artístico de los pueblos griegos (no solo escultura, joyas, objetos artísticos varios, sino incluso columnas, capiteles, arquitrabes, etc.). El saqueo de Siracusa en el año 212 a.C. por Marcelo abrió la lista de tales expoliaciones. Estrabón afirmaba que la mayoría de las estatuas que se veían en Roma en su tiempo (coincidente con Augusto) procedían de Korinthos.
- También llegaron a Roma gran número de arquitectos, artesanos y artistas, unas veces como rehenes de guerra y otras por su propia voluntad, de los que una vez puestos al servicio del ejército, de la administración romana o de los particulares, surgieron nuevas ideas, formas, técnicas, modas y costumbres de gran poder expansivo y fuerza proselitista. Un ejemplo de arquitecto griego trasladado a Roma por la guerra fue el famoso Hermódoros de Sálamis, que llegó de la zona de Macedonia en el año 146 a.C. como consecuencia de las acciones bélicas de Metelo "El Macedónico", donde construyó diversos monumentos con materiales y artesanos traídos de las regiones egeas⁴⁹.

⁴⁸ García y Bellido, A.: *"Arte Romano"*. C.S.I.C. Madrid, 1979. P. 41 y ss.

⁴⁹ Adam, J.P.: *"La construcción romana. Materiales y técnicas"*. Editorial de los Oficios. León, 1996. P.114-115.

Sin duda, superada con el tiempo esta dialéctica, la ingeniería romana ha sido reconocida por su sentido práctico, su funcionalidad, la gran uniformidad de sus modelos y por el gran desarrollo de técnicas constructivas que le permitieron mantener una gran actividad constructora por todo el Imperio, tanto en el ámbito de la arquitectura como de las obras públicas, que sentaron las bases de la edificación y de la ingeniería civil posterior. Entre los logros más significativos de la construcción romana y que la singularizan, están el empleo masivo y plenamente desarrollado de las estructuras arqueadas (arcos, bóvedas y cúpulas), el uso del hormigón de puzolana y cal, y el concepto de obra pública⁵⁰, que le otorgan una clara originalidad en sus realizaciones y rechazar la idea extendida de que se limitaron a copiar de aquí y allá, a imitar las técnicas de todos los pueblos conquistados, sobre todo, como ya se ha dicho, del mundo constructivo etrusco y griego. Hoy se sabe que los etruscos no emplearon el arco de dovelas en sus tumbas (que son la mayoría de las construcciones etruscas conservadas), pues las construían, o bien con la técnica de voladizo sucesivos (falsas bóvedas) o simplemente tallándolas en la toba (piedra caliza muy fácil de trabajar), procedimientos que les aseguraban el cierre del espacio interior. No se conoce ningún caso donde las piezas estén aparejadas con juntas radiales hacia el centro de la curva (Adam, 1996, p. 99), no se trata de verdaderas arquerías de dovelas.



Bóveda etrusca en una tumba de Cerveteri construida con voladizos sucesivos.

En muchas publicaciones se citan como realizaciones de época etrusca varios arcos y bóvedas de dovelas, como la Cloaca Máxima, el arco de entrada a *Falerii Novi* y *Paestum*, pero todos los casos son de época romana. En el caso de la Cloaca Máxima, las bóvedas conservadas son la consecuencia de diversas reconstrucciones, la última de Agripa en tiempos de Augusto, la mayoría de ellas realizadas en época republicana pues durante el reinado de los etruscos era una simple canalización con una cubierta de madera. En dos lugares de su recorrido se ha comprobado que el trasdós de la bóveda está por encima del nivel superior del pavimento de época republicana.

⁵⁰ Smith, N.A.F.: "The roman bridge-builder: some aspects of his work". *The Structural Engineer*, Vol. 71, nº 9. Mayo 1993.



Salida al Tíber de la Cloaca Máxima en Roma, tal como se haya en la actualidad.

Para el segundo ejemplo la conclusión es la misma: el arco es de construcción romana ya que también lo es el propio recinto de *Falerii Novi*, construido para alojar a la trasladada población etrusca de *Falerii Veteres*, destruida intencionadamente en el 241 a.C.



Arco de una de las puertas de Falerii Novi (Italia), del siglo III a.C.

Un ejemplo claro de bóveda etrusca es el *Tullianum*, edificación abovedada subterránea cercana al arco de Septimio Severo en el Foro de Roma, pero construida por el procedimiento de voladizos sucesivos (denominados *tholos* o falsas bóvedas por los arqueólogos).

El mundo de la construcción griega sí conocía y empleaba el arco de dovelas desde una época imprecisa, aunque de forma muy limitada. Y no deja de ser curioso que los griegos, grandes viajeros, no hayan tomado el ejemplo de las bóvedas de ladrillos orientales que se hacían desde el III milenio antes de Cristo en Mesopotamia y Egipto. J.P. Adam (Adam, 1996, p. 104) explica este hecho por la naturaleza de los materiales empleados. En los países donde la madera y la piedra son escasos es razonable pensar que desde muy pronto los constructores

desarrollasen soluciones para cubrir un espacio, aparejando pequeños elementos como los ladrillos y adobes, económicos y fácilmente fabricables. La técnica de los voladizos sucesivos necesitaba una gran elevación para cubrir espacios de luces relativamente cortas, por lo que no resultaba adecuado si la luz era de cierta envergadura.



Arco de descarga de voladizos sucesivos en la Tumba o Tesoro de Atreo en Micenas (Grecia).

Pero este inconveniente fue superado al inventarse otra forma de aparejar estos pequeños elementos, al colocarlos con juntas radiales hacia un mismo centro: se crearon las estructuras arqueadas de dovelas. Esta forma de aparejar, tanto en Mesopotamia como en Egipto, no se empleó nunca en la arquitectura monumental, reservándola para la arquitectura funcional, en pasadizos, puertas, almacenes, graneros, etc. En Grecia, donde abunda la piedra, desarrollaron fundamentalmente una arquitectura adintelada que satisfacía las necesidades constructivas de su arquitectura monumental, por lo que no tuvieron necesidad de emplear estructuras arqueadas mucho más complejas, a pesar de conocerlas y de saber construirlas. También en este país se emplearon como solución en arquitecturas de segundo orden, sobre todo en baluartes defensivos de época helenística, para enmarcar las puertas de estos recintos. En los restos conservados se aprecia una evolución constructiva, desde modelos muy rudimentarios a base de una simple disposición, en círculo, de piedras irregulares y otros que ya son perfectos arcos adovelados.

Pudo ser en esta época cuando los griegos pusieron a punto la técnica constructiva del arco de dovelas, que posteriormente fue tomada por los romanos que la utilizaron con profusión y gran dominio⁵¹. Unos primeros ejemplos de arcos de dovelas se hallan en el recinto defensivo de la villa de Oiniadai, anteriores al levantado por el rey macedonio Filipo V después de su conquista en el año 219 a.C., en dos postigos cubiertos por arcos de trasdós irregular, cuya construcción se puede remontar al siglo IV a.C. En este siglo también se puede datar la construcción de otros dos postigos de las murallas de Heraclea de Latmos con dovelas del

⁵¹ Adam, J.P.: "L'architecture militaire grecque". Edit. Picard. Paris, 1982.

mismo tamaño (con trasdós e intradós concéntricos)(Adam, 1982, p. 100). Desgraciadamente desconocemos la fecha de construcción de una alcantarilla en Kasarma, realizada con mampostería ciclópea y cerrada con una clave (Adam, 1982, p. 103), aunque en la zona la datan en época micénica (Galliazzo la data en el siglo V a.C.).



Pequeña alcantarilla de un antiguo camino cercano a Kasarma (Grecia), de tradición micénica.

En el año 340 a.C. se construyó la puerta del recinto defensivo de Velia en Lucania (Italia meridional), que se considera el más antiguo arco de dovelas conocido del mundo griego. Otros autores⁵² mantienen la opinión de que los griegos no emplearon el arco de dovelas hasta que no entraron en contacto con la construcción romana.

En cambio los romanos a partir de 100 a.C. utilizaron profusamente y desarrollaron rápidamente las estructuras arqueadas en sus construcciones. Antes ya las habían construido pero de modo escaso y con una técnica poco desarrollada. Al parecer el arco de dovelas conservado más antiguo del mundo romano se halla en la mencionada y antigua ciudad de *Falerii Novi*, en una de las puertas de su antigua muralla (se estima que fue construido en el año 240 a.C.). Quizá anteriores a esa fecha sean los arcos de algunos puentes de la *Via Appia* y unas modestas arquerías del acueducto *Appio*, ambas realizadas a finales del siglo III a.C., por el censor *Appius Claudius*.

Fueron los técnicos romanos los que llevaron a la máxima plenitud la construcción de los puentes por medio de arcos de dovelas radiales de piedra, aunque hubo algún precedente en Grecia como el puente de Rodi (Galliazzo, 1995, p. 36). Desde época temprana emplearon arcos de medio punto, p.e. en el puente *Aemilius* (142 a.C.) y en el *Pons Mulvius* (109 a.C.) construidos sobre el río Tiber en Roma, y sorprendentemente los arcos circulares rebajados, p.e. en varios puentes de *Patavium* (la actual Padua) (Galliazzo, 1971) como el San Lorenzo, el llamado de la Universidad y el puente Molino.

⁵² Choisy, A.: *El arte de construir en Roma*. Trad. de M Manzano-Monís. CEHOPU-Instituto Juan de Herrera. Madrid, 1999.



Arco rebajado del puente de San Lorenzo, actualmente bajo una plaza de Padua.



Puente Molino reconstruido de Padua (Italia)

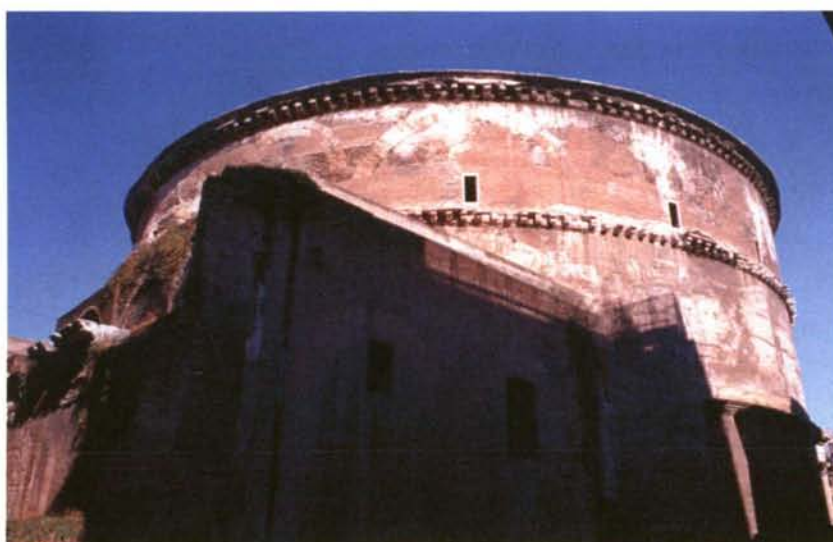
La construcción del primero pudo ser datada, gracias a la conservación de una inscripción en la boquilla del arco central, entre los años 40-38 antes de Cristo. Los arcos rebajados los emplearon, si observamos los puentes conservados, mucho menos por su mayor complejidad constructiva y estructural. En España se han conservado bóvedas rebajadas en el Ponte Pedriña (Ourense) en la vía 18 del Itinerario de Antonino, y en el puente de Alconetar (Cáceres).

La gran revolución constructiva llevada a cabo por los arquitectos romanos a partir de los últimos años de la República fueron las bóvedas y cúpulas, elementos de cubrición de los grandes edificios, como el Panteón de Agripa o las termas, y su construcción con un nuevo material, el *opus caementicium*, formado por una mezcla de cal, arena, puzolana y piedras, que le confirieron un sello especial, absolutamente original. Esta arquitectura es inconcebible, hasta cierto punto, sin el empleo de este material, que reunía la facilidad de obtención, confección y puesta en obra, adaptabilidad, plasticidad, resistencia y durabilidad. Desde esta

época fue un material que, junto con el ladrillo, proporcionó muchos recursos a los arquitectos e ingenieros romanos.



Arco rebajado del puente de Alconetar (Cáceres).



Cúpula de hormigón del Panteón de Agripa, reconstruido por Adriano (Siglo II d.C.)

La disposición en las bóvedas de los dos materiales más empleados, la sillería de piedra y el hormigón, es diferente: las dovelas se disponen con juntas radiales mientras que el hormigón se coloca en capas con juntas horizontales (Choisy, 1999, p. 35), ya que la puesta en obra de las piedras en capas más o menos uniformes (aprox. 50-60 cm y cuyo peso específico disminuía con la altura con objeto de disminuir el peso de las capas superiores) y posteriormente la lechada de aglomerante (cal y puzolana) introducía una extraordinaria simplicidad en la construcción de este tipo de cubierta.

3.4.- Tratados clásicos sobre construcción romana.

Las mejores referencias a la construcción romana las encontramos, fundamentalmente, en la obra de Marco Vitrubio Polión, probable arquitecto romano contemporáneo de Augusto (90-20 a.C.), a quien dedicó su conocida obra *De Architectura libri decem*, único libro de la antigüedad que se conserva sobre este tema. Ya en la Alta Edad Media se conocían copias del libro, pero es a partir de 1414 cuando Poggio Bracciolini llamó la atención sobre una que se hallaba en el monasterio de Saint-Gall (Watkin, 1995, p. 300 y ss.) pero, sobre todo, es después de la primera edición impresa del libro en Roma en el año 1486, cuando el tratado de Vitrubio se convierte en un libro fundamental para la arquitectura renacentista y posterior.

Vitrubio reunió en diez libros los conocimientos que había en su tiempo sobre los materiales de construcción, su fabricación y puesta en obra, los medios auxiliares de transporte y elevación, y los procedimientos constructivos, dejando entrever el intenso conocimiento que tenía de la construcción griega y la pasión por su arquitectura. Nos descubre la intensa normativa que existía en aquella época, que reglamentaba la construcción de diversos edificios (templos, basílicas, foros, teatros, baños y palestras griegas) y sus proporciones generales, la elección de los lugares donde se debían construir las ciudades, la recta distribución y situación de los edificios intramuros, las características, dimensiones y calidades de los materiales de construcción (ladrillos, arena, cal, puzolana, canteras, las maderas a las que sus proporciones de aire, fuego, tierra y agua les confieren diferentes propiedades) que definían las estructuras constructivas en la edificación y los ornatos de las columnas con sus tres órdenes (dórico, jónico y corintio), los pavimentos, enlucidos y pinturas de las paredes. Las referencias a las obras públicas son más escasas, pues sólo refleja, en el capítulo XII del libro V, los puertos de mar y otros "edificios en el agua"; en los capítulos VI y VII del libro VIII, sobre el abastecimiento de agua a las ciudades, por canales y tuberías de plomo o cerámica, da instrucciones sobre la construcción de los sifones, avisando de los peligros del aire dentro de las tuberías y recomendando anclajes o lastres en los ángulos del trazado, y denunciando la mala calidad del agua conducida por las tuberías de plomo.

"En nada debe el arquitecto poner tanto cuidado como en que los edificios tengan en sus partes exacta conmensuración" (Vitrubio, capítulo II, libro VI). Estas palabras reflejan su preocupación constante sobre la disposición formal de los edificios, sus dimensiones y proporciones, buscando que en ellos concurriesen los tres juicios favorables que se hacen de estas construcciones: la ejecución, la magnificencia y la disposición. Cuando se ve, escribe Vitrubio, "... magníficamente ejecutado, alabamos exclusivamente al albañil; si lo vemos magnífico, alabamos sólo el material; pero cuando notamos la elegancia y la exactitud de proporciones, damos toda la gloria al arquitecto".

En el capítulo XI escribe de la firmeza de los edificios y en concreto de los arcos, recomendando que los pilares extremos de una arcada serán más anchos que los intermedios (no da ninguna regla de diseño ni dimensión), para resistir el empuje o "impulso". Los pesos superiores del arco empujan hacia afuera los bolsos o dovelas, que serán resistidos si los

pilares son anchos. Veremos más adelante como el constructor romano conocía el funcionamiento del arco, los empujes y la forma de resistirlos adecuadamente con diferentes detalles constructivos.

Vitrubio refleja en sus libros algunas de las actividades constructivas de su época, más vinculadas a la edificación que a las obras públicas, de las que apenas nos da una pincelada. Así nada escribe sobre la construcción de calzadas (sí de los pavimentos), ni de los alcantarillados o puentes, a pesar de que en su tiempo la ejecución de esta clase de obras estaba muy perfeccionada desde hacía bastante tiempo, como se comprueba en realizaciones muy tempranas como la *Via Appia*, la Cloaca Máxima o los puentes de arcos rebajados de época tardorepublicana de Padova.

Otro autor del cual conocemos una parte importante de su obra es Cayo Plinio Segundo "el Viejo", en cuya obra "Historia Natural", realizada entre el 75 y 79 d.C., siendo emperador Vespasiano, apenas trata temas de construcción⁵³ aunque de pasada cita algunas vías, puentes y acueductos de la época, exclusivamente como referencia geográfica. Solo en el libro XXXVI, capítulo XV, se extiende algo más al tratar sobre las alcantarillas de Roma, de las que escribe en tono laudatorio pues resalta la fortaleza de sus bóvedas que "... reciben golpes de las ruinas que encima se hunden o se derriban con incendios. Estremecese el suelo con terremotos y con todo eso duran inexpugnables, habiendo casi 800 años que fueron hechas por Tarquino Prisco". Alaba también sus dimensiones ya que eran "... tan anchas que podía pasar por ellas un carro muy cargado de heno". Los abastecimientos de agua a Roma merecen su atención, sobre todo las obras realizadas por el rey Q. Marcio y Agripa: "... si alguno considerare diligentemente la abundancia de las aguas que se comunican a toda la ciudad, en baños, piscinas, casas, caños, huertos, jardines, aljibes y en el espacio por donde vienen los arcos levantados, montes minados y valles igualados, confesará no haver cosa más admirable en toda la redondez de la tierra". La obra de desagüe del lago Fucino realizada por orden de Claudio, el puerto de Ostia, los caminos abiertos entre los montes y las grandes presas y diques de piedra del lago Lucrino, son obras destacadas por nuestro historiador.

En el capítulo XXIII describe la forma de cómo se deben hacer los morteros de cal para enlucir las paredes y el fondo de las cisternas que contienen agua. A ser posible se construirán dos depósitos, el primero que retenga los excrementos y las inmundicias y el segundo donde se almacenará el agua pura y limpia.

Sírvanos estas dos referencias como ejemplos de las escasas obras clásicas que sobre la construcción se han conservado de la época romana. Parece evidente que en una cultura tan estructurada y desarrollada como la romana, tuvieron que existir más tratados que incluyesen recomendaciones, estudios de obras realizadas, normativas sobre procedimientos, diseños y dibujos de modelos constructivos, más o menos oficiales, que sin duda facilitaron a los constructores la ejecución de obras de edificación y obras públicas, como parece deducirse de

⁵³ Plinio Segundo, C.: "Historia Natural". Traducida y anotada por el doctor Francisco Hernández. Reed. Visor Libros y Universidad de México. Madrid, 1998.

la uniformidad formal y constructiva que tienen a lo largo y ancho del territorio imperial. Sirva como pequeño ejemplo de esto, la coincidencia casi milimétrica de los ladrillos cerámicos, llamados *dideron* por Vitrubio, empleados en la bóveda de la Alcantarilla de Mérida (cuyos valores medios obtenidos por nosotros son 44,4 x 29,5 cm, es decir 1½ x 1 pies), en el puente de St.Albans en Inglaterra (Hamey, L.A. y J.A., 1990, p. 45.) y en las Termas de Cluny, ambos de 29,5 x 44,4 cm (Adam, 1984, p. 160). Vitrubio nos refuerza esta idea, pues en el prólogo de su libro séptimo agradece a sus antepasados el legado escrito de sus saberes e invenciones. Lo lamentable es que han llegado muy pocos escritos o tratados hasta nuestros días, que sin duda debieron existir. Las grandes bibliotecas antiguas, como la de Pérgamo, creada por los reyes Atálicos o la de Alejandría, fundada por Ptolomeo, tenían que poseer abundante literatura técnica.

3.5.- Los artífices de las obras públicas romanas.

¿Quiénes fueron los proyectistas y los constructores de las obras públicas romanas?, ¿cómo se transmitían los conocimientos técnicos?, ¿cómo era el aprendizaje y la transmisión de los conocimientos?. Son preguntas que surgen y que la aproximación a las respuestas ayudará a conocer mejor la ingeniería civil de aquella época que se mantuvo bastante uniforme, no así la arquitectura que sufrió variaciones. Las tipologías y los métodos constructivos se desarrollaron paulatinamente a lo largo de siete siglos de la historia de Roma por la constante aplicación de los mismos, pues generalmente habían resultado exitosos y fiables. En definitiva, la historia de la ingeniería romana parece ser una historia de mejoras lentas, no de cambios repentinos.

Los artífices romanos de ingeniería y su saber constructivo tienen su origen en la satisfacción de las crecientes necesidades de un pueblo que surgió en una estrecha franja de la región central del occidente de Italia, próxima a un vado del río Tíber en la frontera sur del mundo etrusco, donde habitaban desde la Edad del Hierro. Aprovecharon la oportunidad que les dio su estratégica situación, suficientemente alejada del mar, para no ser objeto de ataques, pero suficientemente cerca para realizar contactos comerciales con otros pueblos y controlar, desde las colinas donde se asentaban, la ruta de la sal que comunicaba las salinas de la desembocadura del río con el interior, llamada posteriormente Vía Salaria, y la ruta costera que iba de norte a sur, desde Etruria a Campania, cruzando el Tíber por el citado vado. Este se hallaba en las proximidades, aguas abajo, de la isla Tiberina, en un recodo del río al pie de las colinas del Capitolio, el Palatino y el Aventino. La tradición sostenía que en esta zona, en la que había un mercado de ganado vacuno, el *Forum Boarium*, y un puerto fluvial, *Portus Tiberinus*, que eran frecuentados por todos los pueblos de los alrededores desde tiempo inmemorial. Allí es donde, según la tradición recogida por Plutarco, el rey Anco Marcio (641-617 a.C.) construyó el puente Sublicio, el primer puente que tuvo Roma sobre el Tíber que permitió la comunicación permanente de las ciudades etruscas situadas al norte con el Lacio meridional. Fue construido con madera, sin hierro ni bronce alguno, por estricta prohibición religiosa, ya que fue un puente sagrado vinculado a la vida religiosa de los romanos y al

Collegium Pontifices, institución religiosa encabezada por el *Pontifex Maximus*. Era el escenario de una antigua y curiosa ceremonia religiosa llevada a cabo en los idus de mayo (día 15 de ese mes) en la cual una comitiva de pontífices, vestales, vírgenes y pretores que previamente habían recogido en 24 lugares determinados de la ciudad (*sacella*) unas máscaras de ancianos confeccionadas con juncos, las arrojaban al río Tíber, probablemente como recuerdo de antiguos ritos de inhumación de ilustres antepasados arribados por mar (se trataría de antiguos personajes vinculados a los Fabios que habrían llegado, según la tradición, acompañando a Hércules) y que mediante ese rito regresarían a su lugar de origen. Otras explicaciones a ese ritual se basaban en la presunta costumbre de deshacerse de los ancianos, inútiles para el combate y la guerra, tirándolos al río para que se ahogasen, y que se trataba de una acción de desagravio al dios Tiberino, ofendido por haberle puesto bajo el yugo de madera del puente.

Del puente Sublicio sólo se conserva una imagen en un medallón de Antonino Pío (140-144 d.C.) con ocasión de una restauración, y muestra el célebre episodio de Horacio Cocles, que defendió la ciudad entreteniéndolo al enemigo mientras se llevaba a cabo la destrucción del puente Sublicio durante las guerras entre etruscos y latinos. El puente tenía cinco pilas de madera empotradas de la misma altura, excepto la central que sostenía una gran arcada en su centro (en realidad son dos arcos rampantes a ambos lados); los otros vanos eran tramos rectos. Probablemente este arco central fue realizado en una época posterior, en una reconstrucción llevada a cabo en tiempos de los Antoninos (96-192 d.C.) cuando por el Tíber había un intenso tránsito fluvial. Con el tiempo, tres calzadas convergerían en él y de él irradiarían otras tres. A partir de aquel puente conquistó Roma toda Italia y, con el tiempo, todo el mundo conocido (Steinman, Watson, 1979, pp. 59 y 60).

El primer puente de piedra de Roma fue el puente *Aemilius* construido por los censores *Aemilius Lepidus* y *Fulvius Nobilior* entre el 181 y el 179 a.C., también en la ribera del *Forum Boarium*. Livio nos dice que, aunque las pilas eran de sillería, los arcos de piedra no se voltearon hasta el 142 a.C. El puente fue reconstruido en el Renacimiento, y la ruina parcial de esta obra es lo que se conserva, conocida por el expresivo nombre de Ponte Rotto.

Un rasgo muy importante de la tradición constructiva romana fue su enorme respeto por los edificios antiguos, que les llevó a preservar a lo largo de los siglos su ubicación, forma y disposición, más o menos permanentemente. De este modo aunque se llevaron a cabo numerosas obras de reconstrucción, la topografía de la ciudad se conservó de forma, por así decirlo, fosilizada. El más antiguo esquema de Roma se puede ver todavía en el plano monumental de la ciudad histórica. Análogamente también se conservaron otros muchos vestigios de su antigua tradición, como fueron ciertas instituciones y numerosos usos y costumbres, heredada de sus antepasados y a la que concedían un grandísimo valor precisamente a causa de su antigüedad.

Todo parece indicar que los romanos eran, a todas luces, unos buenos conservadores por el modo en que preservaron sus viejas prácticas culturales y sumamente escrupulosos en la

ejecución de los actos rituales conforme a la manera prescrita por la tradición, como por ejemplo el proceso de trazado de una nueva ciudad que seguía un modelo uniforme basándose en calles ortogonales, uno de cuyos ejes principales, el *decumanus maximus*, estaba orientado siempre al orto solar (E-O) que había en el preciso momento del rito fundacional, y el otro principal, el *cardus maximus*, que estaba en la dirección N-S.



Cardo Máximo de Jerash (Jordania)

El de Mérida coincide con el orto del verano, época en la que se trazó su plano urbano⁵⁴.

Pero volviendo a la pregunta de quienes eran los proyectistas y constructores de las obras de ingeniería y si éstos eran la misma persona o diferentes, las respuestas no son fáciles de dar ya que se carece de datos precisos. Los escritos conservados hablan de varios personajes que intervenían en una construcción: el *redemptor* era el empresario o responsable de la ejecución de las obras públicas; los *fabri* eran los que con sus manos materializaban la obra y trabajaban bajo las órdenes del *praefectus fabrum*, y el *artifex* que desarrollaba su trabajo en las ciudades. Quizá fuesen los *arquitecti*, llamados así por Plinio, o *architecton*, denominación que dio Procopio a Apolodoro, muy conocidos por los escritos de Vitrubio (Vitrubio, I, I), los encargados del diseño y posterior dirección de las obras, ya que el ingeniero, tal como hoy la conocemos, no existía en época romana. Esta profesión, que en griego se denominaba μηχανικοζ y que se desgajó de la arquitectura, es relativamente moderna ya que surge al final de la Edad Media, vinculada a la construcción de "ingenios", se consolida durante el Renacimiento y se institucionaliza por primera vez en Francia en el siglo XVII, al crearse el "Corps des Ingénieurs de Genie Militaire", del que derivó en 1691 el cuerpo de los ingenieros del rey y los ingenieros civiles, el "Genie Civil", en el siglo XVIII, de la mano de Jean-Rodolphe Perronet.

La preparación técnica y organizativa de muchos magistrados y generales romanos era buena ya que construyeron numerosas obras públicas durante las campañas militares,

aprovechando la fuerza de trabajo del legionario (Galliazzo, 1995, I, p. 193). Es el ejército el único organismo del estado romano que tenía la necesidad indudable de poseer cuerpos de especialistas en la construcción de caminos, puentes, fortificaciones, máquinas de guerra, etc. necesarios para cumplir su misión de conquista y ocupación de los nuevos territorios, faltos de estas obras. Ni el gobierno imperial ni los provinciales tenían en su organización administrativa cuerpos de profesionales que planificaran o diseñaran las obras públicas. Era el ejército y sus ingenieros militares los encargados de las obras de creación de las nuevas ciudades (Abascal, 1989, p. 199) y de las obras públicas en las primeras fases de la colonización, como lo refleja el testimonio del soldado Julio Apollinario que desde el Sinaí escribió una carta a su madre el año 107 d.C., en la que le contaba que le habían ascendido y que gracias a ello había dejado de tallar la piedra, tarea en la que trabajaban todos los soldados. Esta piedra posiblemente iba destinada a la ejecución de calzadas en la recién conquistada Arabia (Hamey, 1990, p. 4 y 5). El propio Vitrubio afirma haber prestado servicio en las legiones de Cesar, en las que debió ocupar una posición de primer plano, dados los profundos conocimientos técnicos que poseía y que refleja en su obra.

En el ejército romano no había un cuerpo propio de especialistas separado del resto de la tropa, como se desarrolló siglos más tarde, pero sí había grupos de soldados especialistas con ciertos privilegios, los llamados *immunes*, que estaban exentos de los trabajos pesados y del control arbitrario del centurión. Hay varios tipos de *immunes* relacionados con las obras públicas: los *mensores*, los *naupégi* (carpinteros navales), los *fabri* (artesanos), los *aerari* (trabajadores del bronce), los *carpentarii*, los *aquilices* (ingenieros hidráulicos), etc. También conocemos la existencia de los *principalis* que quizá tuviesen un rango profesional superior por su mayor cualificación (O'Connor, 1993, p. 42).

Como ya se ha dicho, el técnico más conocido y que nos resulta más familiar, quizá por haberse conservado el nombre, es el arquitecto⁵⁵, que posiblemente llegó de Grecia, pues allí ya existía desde antiguo⁵⁶ aunque esta procedencia geográfica y la fuente de sus conocimientos fueron la causa de una fuerte polémica que surgió en el siglo XVIII y que duró mucho tiempo. Hubo autores que defendieron el origen griego de los arquitectos romanos ya que creían en la clara supremacía de la arquitectura griega sobre la romana, considerada una mera copia de la primera, y otros que defendieron la originalidad de los constructores romanos, entre los que destacó, como hemos visto, el arquitecto veneciano Giovanni Battista Piranesi. Como ejemplo de esta viva polémica podemos citar las afirmaciones que Mr. Mariette (Piranesi, 1998, p. 223 y ss.) realizó en 1764 a la "Gazette Litteraire de L' Europe" de París y en la que sostenía que las artes en Roma fueron ejercidas por "... griegos mercenarios que, atraídos por la esperanza de ganancias, no tuvieron dificultad alguna para expatriarse y abandonar un país en el que, después de la conquista romana, las ocasiones para hacerse valer y sostener

54 Abascal, J.M; Espinosa, U.: "La ciudad hispano-romana. Privilegio y poder". Colegio de Aparejadores y A.T. de La Rioja. Logroño, 1989. P. 53

55 Jiménez Martín, A.: "El arquitecto en Roma". Publicación "Artistas y artesanos en la antigüedad clásica". Cuadernos Emeritenses - 8. Museo Nacional de Arte Romano. Mérida, 1994. P. 31 y ss.

56 Martin, R.: "Manuel d'architecture grecque. Matériaux et techniques". Tomo I. Editions A. et J. Picard et Cie. Paris, 1965. p. 172 y ss.

un nombre no eran ya, sin duda, las mismas. Pronto las artes no fueron practicadas en Roma más que por los esclavos". Un poco más adelante seguía escribiendo Mariette: "Los griegos, el más industrial de todos los pueblos sometidos a los romanos, fueron los que en mayor abundancia les proporcionaron estos esclavos artistas: grupo de hombres necesarios al Estado pero relegados a una clase particular y baja y considerados, con todos sus talentos, como de un orden muy inferior al del menor ciudadano romano". Estas afirmaciones fueron negadas por Piranesi que escribió la replica rebatiéndolas punto por punto e insistiendo en la originalidad de la construcción romana.

Independientemente de esta antigua polémica, el consejero técnico de los responsables de una ciudad, de un santuario y de los mandos del ejército, frecuentemente era un arquitecto griego. Algunos son conocidos a través de las fuentes documentales y apigráficas, como Libon, Ictinos, Scopas, Apolodoro, etc., pero es poco lo que sabemos de sus conocimientos y de las condiciones de su trabajo. Algunos trabajaban por libre contratados para obras determinadas y otros eran funcionarios al servicio de la ciudad y del ejército, encargados no solo de las nuevas obras sino también del mantenimiento de los edificios públicos existentes. Entre las misiones que tenían encomendadas estaba la preparación de los presupuestos para someterlos a la aprobación de la asamblea del pueblo, la redacción de la documentación para la adjudicación, contratación y el cuidado de los obreros, la recepción de los materiales a su llegada a la obra, la verificación de los trabajos realizados por los maestros y el resto de especialistas, que deben estar conformes con el proyecto, la recepción de los trabajos acabados y el libramiento de las autorizaciones de pago. Suministraban verbalmente los datos de proyecto al constructor y también por medio de dibujos acotados, mientras que la idea de conjunto y las grandes líneas se los facilitaba con ayuda de modelos a escala, realizados con madera o arcilla cocida, que facilitaba el trabajo de los canteros, albañiles y escultores.

La figura del arquitecto griego pasó al mundo de la construcción romana con funciones similares. Vitrubio escribe sobre este oficio y delimita los conocimientos y las materias que debía tener y dominar, comparándolo con otras profesiones de la época. Es sin duda, la profesión técnica de la que se posee más información, algo desvirtuada, según algunos autores, por la intención de Vitrubio de vanagloriarla y ensalzarla en exceso en la dedicatoria a Augusto, quizá por un interés personal o corporativo. Escribe en el prólogo sobre los buenos profesionales de la arquitectura y del perjuicio que causan a este noble arte los que así se anunciaban sin serlo, "... al ver yo esta eminente Arte vejada por ignorantes e inexpertos que no solamente son arquitectos ni siquiera aun albañiles". Desconocemos si esta profesión entraba en las que eran consideradas de bajo nivel o rango, al tratarse de un trabajo vinculado a numerosos artesanos, reflejo del desprecio demostrado ya por los griegos a todos los trabajos que no fueran intelectuales. Quizá el artista y el técnico también eran incluidos en ese bajo escalón social pues en Roma, y así lo confirman numerosos escritos de los clásicos, se otorgaba la categoría de ciudadano de segunda clase a todo el que vendía su trabajo por un salario. Cicerón (104-43 a.C.) reflejó en sus escritos esta baja consideración social hacia los "artífices" de su tiempo, pues "... todos los artesanos desempeñan un oficio vil; la "officina"

(taller) no parece conciliable con la condición de hombre libre". También Plutarco (46-119 d.C.) recoge algo parecido cuando escribe que "... el trabajo realizado con las manos, siempre es despreciable". Lo que podía tener éxito y gozar de un gran prestigio social era la obra pública en sí, sobre todo si era monumental y promocionada por el emperador o algún conocido patricio, pues el aparato del Estado se imponía sobre los artífices de las obras, permaneciendo, en general, en el anonimato el ejecutor, no así, en algún caso, quien las paga o dedica⁵⁷.

No hay que olvidar las palabras de Jean-Paul Morel: " Para los romanos, el verdadero autor de una obra de arte no es el que la ha modelado, el verdadero artífice de un monumento no es el que lo ha levantado. Es el personaje que lo ha deseado y lo ha financiado, y quien le ha impuesto sus gustos o su ideología: el cliente" (Jiménez Martín, 1994, p. 33). Destacamos a ciertos emperadores como Nerón, Trajano y sobre todo Adriano, al que se le han supuesto amplios conocimientos de la profesión por el gran interés que tuvo por la arquitectura y el tremendo afán constructivo (Piranesi, 1998, p. 228), pero que, posiblemente, no pasó de ser un gran entusiasta de la arquitectura, que coleccionaba edificios y mansiones como otras personas coleccionaban esculturas. Con Nerón y la construcción de la *Domus Aurea* se culminó el empleo del *opus caementicium* en las bóvedas; Trajano fue un gran impulsor de numerosas obras públicas, como el puente de Alcántara y el construido sobre el Danubio por Apolodoro de Damasco. De Adriano destacan dos obras: la reconstrucción del edificio del Panteón, levantado inicialmente por Agripa, que la dotó de una espectacular cúpula de hormigón que hoy es considerada como una obra cumbre de la arquitectura de todos los tiempos, y la construcción de la Villa Adriana en Tívoli, con sus calles subterráneas, grandes edificios y jardines, culminación de su deseo de recrear los edificios y ciudades que conoció en sus viajes.

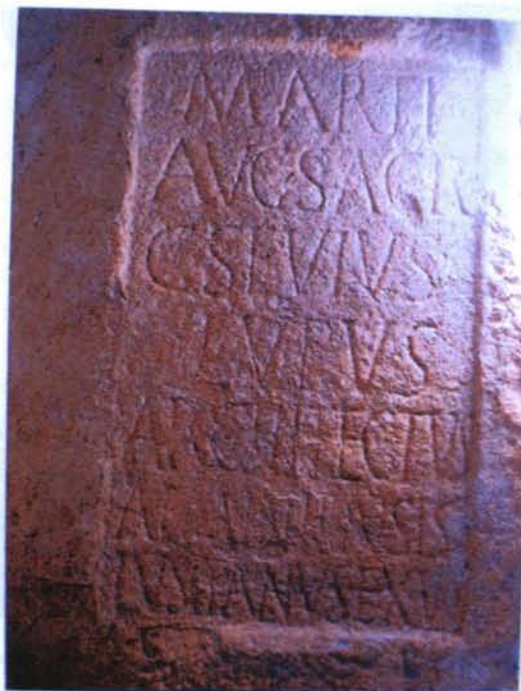


Teatro Marítimo de la Villa de Adriano en Tivoli (Italia).

⁵⁷ Sánchez Moreno, E.; Luján Díaz, A.M; Trillmich, W.: "Observaciones en torno al escultor en la sociedad romana". Publicación "Artistas y artesanos en la antigüedad clásica". Cuadernos Emeritenses - 8. Museo Nacional de Arte Romano. Mérida, 1994. P. 90 y ss.

Durante la República la iniciativa para la construcción de las obras públicas surgía de la oligarquía aristocrática o senatorial romana, que ponía el asunto, generalmente, en manos de políticos como eran los *censores* que dirigían el proyecto y la obra. También estaban los *ediles*, magistrados de rango inferior, que eran los responsables del mantenimiento de las obras. Los *magistri viarum* son los encargados del mantenimiento de las vías vecinales (según Sículo Flaco, agrimensor). En el Imperio el promotor de las obras era siempre el propio emperador (este proceso lo inició Augusto) y dada la gran cantidad de obras públicas realizadas el Estado tuvo que crear un nuevo cargo, el *curator* (el propio Augusto se autonombró *curator viarum*), que eran personas especializadas en una determinada tarea. Surge las figuras del *curator aquarum* (uno de ellos fue Frontino) o el *curator viarum* ya mencionado, como lo fue L. Fabricius, probable constructor del puente existente en la Isla Tiberina de Roma y que lleva su nombre, tal como se puede leer en la inscripción conservada: L. FABRICIVS.C.F.CVR.VIAR.FACIVNDVMCOERAVIT.

En los territorios conquistados la política de creación de colonias y la constitución de nuevas ciudades realizada al elevar al rango de municipio a determinados núcleos indígenas, provocó que fuesen las propias administraciones locales las que se encargasen de promover y construir las obras públicas, con la autorización del emperador y pocas veces con su ayuda



Inscripción de Gaius Sevius Lupus, arquitecto del faro de Hércules de A Coruña.

financiera, ya que el gobierno imperial solo garantizaba la seguridad y la legalidad en la provincia. Para su realización también se tenía que recurrir a profesionales de origen local, como son los que conocemos de *Hispania*, gracias a sendas inscripciones: el lusitano *Gaius Sevius Lupus*, constructor de la linterna o faro de A Coruña, llamado de Hércules, que era de la localidad de *Aeminium* (actual Coimbra)⁵⁸ y *Gaius Iulius Lacer*, de presunto origen lusitano, que ejecutó el puente de Alcántara. Por otras inscripciones halladas también se conocen los nombres de otros arquitectos dedicados a actividades edificatorias, como la hallada en Clunia (Coruña del Conde-Burgos) donde se lee la inscripción:

TEMPLVM DIANAE MATRI APULEIVS ARCHITECTVS SVBSTRVXIT (el arquitecto Apuleyo cimentó el templo de la Madre Diana)⁵⁹.

⁵⁸ Romero Masiá, A.: "A restauración da Torre de Hércules e o Real Consulado da Coruña". Publicación "Ciudad y Torre. Roma y la Ilustración en La Coruña". La Coruña, 1991. P. 173.

⁵⁹ Martínez Prades, J.A.: "Los canteros medievales". Ediciones Akal. Madrid, 1998.

Pero a pesar de los pocos arquitectos conocidos, estos expertos debían ser abundantes a la vista de la observación realizada por el emperador Trajano a Plinio el Joven al responderle a su petición de que le enviase algunos técnicos al inicio de su gobierno en Bitinia: "Arquitectos no pueden faltarte, pues no hay provincia que no los tenga expertos e ingeniosos. no vayas a creer que lo más rápido es pedir uno a Roma, pues también los de aquí suelen proceder de Grecia" (Blanco Freijeiro, 1977, pp. 39 y ss.).

Tanto las colonias como las ciudades debieron tener en sus cuadros administrativos a funcionarios que, o bien planificaron y dirigieron las obras públicas (abastecimiento de agua, red viaria, puentes, saneamientos, etc.) o bien controlaron los gastos de las mismas llevadas a cabo por artífices civiles de la propia ciudad o contratados fuera. En la antigua *Hispania* se han conservado inscripciones donde se ha registrado la intervención de municipios en la construcción de obras públicas, en concreto de dos puentes. El primer ejemplo es la inscripción del puente romano de Chaves (la antigua *Aquae Flaviae*), en dos columnas, en una de ellas conocida por "Padrao dos Povos", colocada en el lado aguas abajo de la calzada, se grabó el agradecimiento de varias *civitates* galaicas (*Aquiflavienses*, *Aobrigenses*, *Bíbalos*, *Coelernos*, *Equesios*, *Interamicos*, *Límicos*, *Aebisocos*, *Quarquernos* y *Tamaganos*) al emperador Vespasiano, al legado propretor Caio Calpetano Rancio Quirinal (funcionario imperial que también intervino en la construcción de la vía nº 18 llamada *Via Nova*), al procurador L. Arruncio y a la legión VII Gemina, por algún favor o privilegio recibido que se desconoce. Algún autor⁶⁰ opina que esta inscripción conmemora la construcción del puente por esas diez *civitates*, con el subsidio económico de la administración imperial y la dirección técnica de los ingenieros pontífices de la Legión VII Gemina. Otros estudiosos, como A. Rodríguez Colmenero⁶¹ no está de acuerdo con esa interpretación, ya que la segunda columna existente en el puente del lado aguas arriba y que es una copia de la original hallada en el cauce del río hace algunos años y que, al parecer, estaba originalmente cerca del puente pero no en él, es la que realmente conmemora la construcción del puente ya que contiene una mención expresa al hecho: "... AQVIFLAVIENSES PONTEM LAPIDEUM DE SVO F C", que traducida dice "... los aquiflavienses levantaron a su costa este puente de piedra". El otro ejemplo se puede leer en una inscripción que está en una placa de mármol, renovada en el siglo XIX, colocada en una de las caras del pilono del arco de triunfo del puente de Alcántara, donde están grabados los nombres de los once municipios estipendiarios de la provincia de Lusitania que contribuyeron a la obra del puente. Al parecer había otra inscripción donde se incluían los nombres de otros dieciséis municipios también estipendiarios de la obra, por lo que habrían sido en total veintisiete los que hubiesen contribuido económicamente en la construcción del puente (Rodríguez Pulgar, 1992, pp. 55 y ss.)

60 Le Roux, P.: "L'armée romaine et la organization des Provinces Iberiques d'Auguste a l'invasion de 409". Paris, 1982.

61 Rodríguez Colmenero, A.: "Aquae Flaviae. Fonte epigráficas". Câmara Municipal de Chaves. 1987. P. 546 y ss.



Copia del "Padrao dos Povos" en el puente romano de Chaves (Portugal).



Copia de la columna conmemorativa de la construcción del puente de Chaves.

Además de los arquitectos y demás profesionales mencionados, en las obras también intervenían otros técnicos, como los *mensores*, los *libradores* llamados así por que calculaban la pendiente o *libramentum*⁶² de las conducciones de agua con la *groma* y el *chorobates*, dos conocidos aparatos topográficos utilizados para marcar alineaciones el primero y realizar nivelaciones el segundo, los *aquileges* y los *calculatores* que eran matemáticos conocedores del manejo del *abacus*, aparato que está gravado en una lápida del siglo I a.C. que se conserva en el Museo Capitolino de Roma⁶³, los *lapidarii* que trabajaban la piedra en general, los *marmorarii* que labraban el mármol, los *structores pavimentarii* que eran los especialistas de la construcción de pavimentos *signinum* (de barro cocido y mortero), *tessellarum* (a base de pequeñas piezas de piedra, mármol o barro cocido, llamadas teselas dispuestas en mosaicos), o *terrazzo signinum*⁶⁴. Todos pertenecían a la red funcional del estado imperial y muy probablemente eran militares que habían recibido en el ejército la instrucción sobre el uso de los instrumentos de nivelación, sobre las medidas y las leyes relacionadas con las tierras, las matemáticas y la cosmología.

Los *mensores* debieron ser muy abundantes y de cierta cualificación, pues también son muy mencionados en las fuentes clásicas. Estos profesionales se dedicaban a la ordenación

⁶² Malissard, A.: "Los romanos y el agua". Editorial Herder. Barcelona, 1996

⁶³ Palma, W. di: "Abaco e grama. Strumenti di calcolo nell'antica Roma". Edic. Argos. Roma, 1993.

del territorio, de modo similar a sus homólogos griegos, egipcios y mesopotámicos, ya que su misión fundamental era la medición de terrenos destinados a la edificación y a la agricultura. En este último ámbito realizaba la ordenación en cuadrículas (las llamadas centurias)⁶⁵ como fase previa para la posterior cesión a los colonos⁶⁶. Se les denominaba *mensores aedificiorum* cuando su campo de actuación era el suelo urbano, *agrimensores* o *finitores* si actuaban en espacios libres o en terrenos en general, y *decempedator*, *compedator* y *gromaticus*, según fuese el instrumento de nivelación empleado (la *decempeda*, el *pes* o la *groma*)⁶⁷. Los *mensores* encuadrados en el ejército eran conocidos por *castrorum metator* o *castrorum mentor*. A partir del siglo II los lazos de unión de este cuerpo militar y los agrimensores se estrecharon mucho más, ya que en bastantes regiones del Imperio era la autoridad militar la única que se ocupó de la centuriación.

Algunos *agrimensores* son conocidos, gracias a las fuentes documentales que se han conservado. Destacan, entre otros, los nombres de Frontino, el más conocido, Hyginus, Balbo, Sículus Flaccus⁶⁸ y a Nicostratus de Pompeya, ciudad en la que se halló la estela funeraria de su enterramiento, con su nombre y el detalle de una *groma* (Adam, 1996, p.11).

Pero la mayoría son completamente anónimos, como lo son los solicitados por Plinio al emperador Trajano para que revisasen las obras públicas en curso en la provincia que iba a administrar, y obligar así a los contratistas a reducir costes. A esta petición el emperador le responde que "... apenas dispongo de topógrafos suficientes para las obras que se realizan en Roma y alrededores; pero en todas las provincias se encuentran técnicos de confianza, de modo que no te faltarán si eres diligente en la búsqueda" (Blanco Freijeiro, 1977, p. 40).

De todos los *mensores* o *agrimensores* el más conocido, como ya se ha dicho, es Sexto Julio Frontino (30-104 d.C) que nos legó cuatro tratados de agrimensura: "*De agrorum qualitate*" sobre los diferentes tipos de tierras, "*De controversis*" sobre las controversias que pueden surgir por la propiedad y posesión de las tierras, "*De limitibus*" sobre el origen de la centuariación, su trazado y sobre el manejo y colocación de la *groma* y "*De controversis agrorum*", un tratado más extenso que el citado en segundo lugar sobre los litigios surgidos por las tierras. También escribió el tratado titulado "*De aquaeductus urbis Romae*"⁶⁹ donde describe la construcción de los nueve acueductos de Roma desde el 312 a.C. al 52 d.C, y la administración de las aguas⁷⁰.

Algunos textos técnicos conservados de estos *agrimensores* han sido reunidos bajo el nombre de *Corpus agrimensarum* o de *Gromatici*. Se trata de textos tardíos de tipo escolar que contenían los conocimientos necesarios para la práctica de la profesión, como el

64 Lancha, J.: "Les mosaïstes dans la partie occidentale de l'Empire Romain". Publicación "Artistas y artesanos en la antigüedad clásica". Cuadernos Emeritenses, nº 8. Mérida, 1994. P.128.

65 Ariño Gil, E.: "Centuriaciones romanas en el valle medio del Ebro. Provincia de La Rioja". Instituto de Estudios Riojanos. Logroño, 1986.

66 Nicolet, C.: "L'Inventaire du Monde". Edit. Fayard. Paris, 1988. P. 161 y ss.

67 Resina Sola, P.: "Función y técnica de la agrimensura en Roma". Topografía y cartografía.

68 López Paz, P.: "La ciudad romana ideal. 1. El territorio". De la colección "La economía Política de los romanos", dirigida por Gerardo Pereira-Menaut. Santiago, 1994.

69 Frontin: "Les aqueducs de la ville de Rome". Trad. de Pierre Grimal. Société d'Édition "Les Belles Lettres". Paris, 1961.

70 Bonnin, J.: "L'eau dans l'antiquité. L'hydraulique avant notre ère". Edit. Eyrolles. Paris, 1984.

establecimiento de límites, las técnicas de medición y de centuriación, tipos de medida, relación de posibles controversias o litigios y, lo que es más interesante, la incorporación de documentación gráfica⁷¹.

La articulación de todos estos profesionales de la construcción, a pesar de ser poco conocida, debió estar lo suficientemente desarrollada y ser lo bastante dinámica para resolver, de modo tan eficaz, la construcción y el mantenimiento de las numerosas obras públicas realizadas a lo largo y ancho del Imperio, algunas de ellas de gran calidad técnica y estética. Para lograr el desarrollo de la construcción romana también se necesitaba la existencia de industrias suministradoras de materiales de construcción y de transporte. Un ejemplo de esto último lo constituye la referencia de Vitrubio a un material como el esparto español y la caña griega que se suministraban a Roma para realizar los falsos techos enlucidos (Vitrubio, VII, III, 10).

La mano de obra se empleó en la construcción en general y estuvo formada por ciudadanos que gozaban, dentro de las respectivas organizaciones profesionales, los *collegii*, de privilegios y obligaciones, de hombres de la milicia, de prisioneros de guerra y también de esclavos que podían pertenecer a un determinado colegio que dada su escasa especialización era posible

incorporarlos al proceso constructivo por la sencillez de muchos de los procedimientos empleados. También se pudo incorporar, como mano de obra forzada, a determinadas capas sociales con la institución de la prestación personal, la *sordida munera*, en diversos cometidos, como era preparar la cal destinada a las necesidades del Estado y para la construcción de los monumentos públicos, templos y grandes rutas del Imperio. En principio los sujetos sometidos a la prestación personal de trabajo eran todos los habitantes del Imperio, excepto los funcionarios, los oficiales del ejército y los sacerdotes. Sin embargo las excepciones debieron ser muy numerosas.

En el orden operativo Carlos Fernández Casado⁷² escribe que "... la relación entre medios y fines se caracterizó por una falta de tensión



Vista actual del canal de Corinto, proyectado por Periandro en el siglo VI a.C. y abierto definitivamente a finales del XIX.

71 VV.AA.: "Frontino, L'oeuvre gromatique, Corpus Agrimensorum Romanorum IV Iulius Frontinus". Commission des Communautes européennes Action COST G2. Luxembourg, 1998.

72 Fernández Casado, C.: "Tres momentos del ingeniero en la Historia". Separata del libro "Homenaje a Xavier Zubiri". Madrid, 1970.

económica". El ingeniero romano se sentía en posesión de ilimitados recursos que le incitaban a no economizar, puesto que la mano de obra era abundante y el sobredimensionamiento de algunas de sus fábricas era signo de resistencia, ya que la *gravitas* era considerada una cualidad positiva. Este desajuste entre el fin y los medios le llevaron en ocasiones al fracaso, como ocurrió en el intento de abrir el canal de Corinto, la desecación del lago Fucino, y en la construcción de un acueducto en Nicomedia que, como relata Plinio El Joven a Trajano en una de sus cartas, las gentes se gastaron grandes sumas de dinero en su construcción sin haberlo logrado ya que se ha derrumbado dos veces.

3.6.- Los Collegii

Se conoce la existencia de este tipo de asociaciones en diversas profesiones, de carácter privado que tenían la finalidad de proteger, transmitir e impulsar el oficio correspondiente (*pictores, fabri*, etc.). Diversos escritores como Tito Livio, Plutarco, Cicerón o Dión e incluso las XII Tablas resaltan la ordenación del culto religioso y las leyes realizadas por el rey Numa Pompilio (714-672 a.C.), en las que estableció la división según las diversas artes, entre las que se hallaba la arquitectura, y concedió a cada una de ellas el derecho de reunión, sus fiestas y sacrificios, es decir lo que se conoció como un colegio. Es poca la información que se tiene sobre estas organizaciones, pero a pesar de ello se sabe que era una asociación de personas con el mismo oficio, jerarquizada, dentro de la cual sus relaciones estaban regidas por unos estatutos libremente aceptados, con unos derechos y unas servidumbres, que la convertían en una sociedad obrera profundamente distinta del resto de la sociedad romana (Choisy, 1999, pp. 188 y ss.). Antes de convertirse en un instrumento del Estado Imperial, los colegios obreros lucharon largo tiempo, desde los primeros tiempos de Roma, para que se les reconociese su existencia y sus derechos. Fue bajo Adriano cuando consiguieron el rango definitivo entre las instituciones regulares y comenzaron a jugar el papel importante que tuvieron en la economía del Imperio.

El origen de los primeros colegios hay que vincularlos a la actividad militar de Roma, ocupada en su política expansionista de conquista y ocupación de muchos territorios. Oficios como los desarrollados por los trabajadores de la madera y los metales eran considerados, desde el punto de vista de la intendencia militar, de gran importancia pues, como manifestaba Tito Livio, hacían de soldados sin llevar armas.

El ejemplo de estos primeros colegios animó a otros artesanos a constituir nuevos colegios, que en determinados momentos de la historia de Roma alcanzaron grandes cotas de poder que fue la causa de su prohibición por las autoridades en algunos momentos de la época de Cicerón o Julio Cesar. Los esfuerzos de los emperadores para controlar los colegios fueron importantes, haciéndoles perder el carácter profesional reivindicativo y tratando de reducirlos a simples cofradías religiosas, para lo cual se colocaron poco a poco a su frente. Nerón se hizo nombrar sacerdote de todas las corporaciones toleradas en Roma, pero fue Adriano el que entendió la inutilidad de estos esfuerzos en contra de los colegios y vio en ellos unos magníficos instrumentos para su política constructiva. Los colegios de obreros de la

construcción perdieron entonces el carácter primitivo de asociaciones libres al incluirse en las instituciones oficiales del Estado. Nos cuenta el escritor romano Aurelio Víctor, que Adriano enroló a los herreros, topógrafos, arquitectos y a todos los artesanos que construían los edificios o los decoraban, en cohortes organizadas según el modelo tomado del ejército, y les concedió algunos privilegios como era la exención de todos los cargos públicos, de todas las funciones municipales y de los impuestos extraordinarios, de las prestaciones personales y del servicio militar, a cambio de ciertas servidumbres. Los artesanos colegiados estaban obligados a trabajar para el Estado, ejecutando las obras según la costumbre y la tradición que acepta con mucha dificultad los cambios e innovaciones, a residir donde el poder lo considerase oportuno y aceptar el precio ofrecido por la administración romana, la cual muchas veces pagaba con la donación de tierras *fundi dotales* que incluía en la remuneración de sus servicios.

El colegio se dividía en centurias y decurias, a la cabeza de las cuales estaban cargos electos, designados bajo el nombre de *magistri*, *quinquenales*, etc. Se reunían en los lugares de asamblea llamados *scholae*, en los que también se celebraban las fiestas de tipo religioso. Tenían sus propios sacerdotes, sus templos y toda una serie de instituciones religiosas que se conservaron incluso después de que el cristianismo fuese la religión oficial del Imperio.

Además de estas divisiones los artesanos eran subdivididos de acuerdo con las distintas especialidades dentro de un mismo oficio. Frontino nos informa de los distintos oficios del cuerpo de los *aquarii*: *villici*, *castellarii*, *circitores*, *silicarii*, *tectores*, etc. que reflejan la extrema división de los trabajos y la profunda especialización de los oficios.

Un colegio ilustre desde muy antiguo fue el colegio de pontífices, los constructores de puentes, que se convirtió, pasados los años, en una organización social y sobre todo religiosa presidida por el *Pontifex Maximus*, que, según Cicerón, se encargaba, entre otros asuntos, de anotar en los "Anales Máximos" los acontecimientos más importantes del año, como podían ser determinadas obras públicas. Este cargo y título alcanzó una marcada distinción religiosa, política y social, por lo que se lo arrogaron los emperadores romanos y lo añadieron a sus numerosos títulos. Después de la desaparición de las estructuras administrativas del Imperio y convertido el cristianismo en el principal instrumento propagador del legado de Roma, los papas tomaron el título de "sumo pontífice" para demostrar que eran los herederos de los antiguos césares, del orden y del prestigio del imperio desaparecido.

Una de las funciones más destacadas de los colegios eran su papel de transmisores de generación en generación del arte de construir, aprendido con ayuda de experiencias constructivas pasadas. Los colegios no se contentaban con marcar y hacer cumplir las disposiciones de orden y disciplina incluidas en la *lex collegii*, sino que también debieron poseer normas o prescripciones técnicas que les prohibían ciertas prácticas o hacían obligatorios ciertos métodos y procedimientos constructivos tradicionales.

Estas organizaciones, perfectamente estructuradas en la administración de Roma, fueron instrumentos muy útiles para conseguir a lo largo de cuatro siglos, desde Augusto al final del Imperio, que los trabajos públicos se realizasen de acuerdo a la tradición, siguiendo modelos experimentados, con un claro rechazo a las innovaciones constructivas que las técnicas constructivas, en definitiva, el arte de construir, se transmitiese por vía hereditaria, casi obligatoriamente. Ambas circunstancias fueron la causa de la gran uniformidad constructiva en todo el imperio.

Quizá estas organizaciones colegiales fuesen el precedente de los posteriores gremios medievales, y éstos sus herederos, no sólo de su forma de organizarse sino incluso de sus conocimientos constructivos. La más que probable disposición por parte de los constructores romanos de reglas aritméticas o geométricas, de tipo proporcional, y el correcto uso de modelos, empleados en el dimensionamiento de sus obras, pudieron llegar a los maestros medievales. Como posible comprobación de este hecho se ha analizado los espesores de estribos, de las pilas y de la rosca de las bóvedas de algún puente romano para ver si se adaptaban a las medidas obtenidas mediante la aplicación de las reglas que conocemos de algunos tratadistas de los siglos XVI y XVII, de tradición gótica, es decir con recomendaciones de tipo geométrico, como los españoles Martínez de Aranda, Hernán Ruiz y Rodrigo Gil de Hontañón, y otros del XVIII como Gautier o Plo y Camín (Huerta, 1990), aunque no hemos llegado a ninguna conclusión por la gran dispersión de los resultados. Tampoco con la aplicación de reglas de tipo numérico, proporcionales, como las de Alberti, Juanelo Turriano y Fray Lorenzo de San Nicolás, hemos sacado conclusión alguna. No obstante seguimos pensando que tuvieron ciertas reglas de diseño, o bien geométricas o bien numéricas⁷³, similares a las que hubo hasta finales del siglo XIX y comienzos del XX, que aplicaban al diseño de sus obras, y de los puentes en concreto, adaptando la solución elegida al río, la forma del valle, las condiciones de cimentación, los materiales a emplear, etc. El estudio de la existencia de estas reglas en la Antigüedad está por hacer.

La existencia de una gran uniformidad constructiva, que se ha constatado en numerosos puentes romanos, nos da pie para afirmar que sus artífices debieron tener esas normas y reglas prácticas, similares a las que, sin duda, tuvo la construcción de las vías. El hecho de que una vía presente una determinada pendiente máxima, una anchura de la vía amplia reflejada no sólo en su plataforma sino también en las calzadas de numerosas obras de fábrica y una exigente linealidad del trazado - todo ello observado en muchos tramos de la vía 18 del Itinerario de Antonino - no son fruto de la improvisación del constructor sino de la aplicación de unos requerimientos normativos que le obligaban a ello.

⁷³ Huerta Fernández, S.: "Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España 1500 ~ 1800". Tesis Doctoral sin publicar. Madrid, 1990.

compuesto sin la simetría y proporción, como lo es un cuerpo humano bien formado". Estas circunstancias nos llevan a centrar el objetivo de esta tesis en el estudio de este tipo de puentes.

4.4.- El planteamiento inicial de la construcción de un puente.

José Eugenio Ribera, ilustre ingeniero de caminos, gran constructor de puentes y profesor de esa disciplina en el primer tercio del siglo XX en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, mencionaba la "complejidad del problema" al que debía enfrentarse el ingeniero al plantearse la construcción de un puente, y exponía todos los planteamientos iniciales que debía realizar el ingeniero para diseñar y construir una obra de ese tipo⁸⁴.

Si situamos el problema en la época romana las cosas no debían ser muy distintas, por lo que siguiendo las pautas señaladas por Rivera, el ingeniero romano trataría de estudiar y resolver uno de los problemas previos ineludibles como es la **ubicación de la obra**, que está, en muchas ocasiones, en "íntima conexión" con el trazado de la vía a la que dará servicio, sin descartar que en otros momentos sea el puente el que imponga un determinado trazado. Simultáneamente tendría que estudiar las **condiciones de la cimentación**, ya que podría encontrar una buena ubicación compatible con el trazado de los accesos, los materiales y la puesta en obra, pero poseer unas deficientes condiciones geotécnicas, para soportar las tensiones de la cimentación que le obligasen a desecharla.

Los **materiales** a usar y la **disposición** del puente serían los siguientes problemas a los que tendría que dar solución. La abundancia de un material en la zona, como la madera o la piedra, la economía y la rapidez de la ejecución influyeron evidentemente en su decisión. Es quizá la componente económica la que más llame la atención, pues se tiene una idea preconcebida de que los recursos eran muy grandes y en consecuencia era una cuestión que no tenían en cuenta. Al contrario, según A. Choisy, "... el genio de los romanos siempre supo conciliar la pasión por las grandes empresas con la economía; el tamaño con la elaboración de métodos de fácil ejecución". Por lo que respeta a la disposición, considerada como la idónea distribución de todas las partes que componen el puente, la posición del ingeniero romano es difícil de conocer ya que hay pocos datos sobre este tema. Las causas o motivos que se tuvieron en cuenta en el momento de decidir el modelo y los materiales con los que iba a construir el puente, es difícil que lleguemos a conocerlas, pues ni Vitrubio ni Frontino ni ninguna otra fuente documental nos hablan de ellas. Es posible, por ejemplo, que el número de arcos y sus luces estuviesen relacionados en algún caso con la cimentación de la zona (p.e. en el puente de Ourense) y que la rasante de la plataforma fuese fijada por la forma topográfica de las orillas. Pero también es muy probable que todas esas cuestiones estuviesen relacionadas con otro problema al que se tienen que enfrentar, y que no es otro que fijar el **desagüe** del puente. Esta es otra cuestión sobre la que únicamente podemos especular pues desconocemos sus verdaderos conocimientos "técnicos" y los criterios que seguían para dar al

agosto 1976.

⁸⁴ Ribera, J.E.: "Puentes de fábrica y hormigón armado". Tomo III, 2ª edición, anteproyectos y puentes de fábrica. Madrid, 1936. Pp. 20 y ss.

puente un desagüe adecuado de modo que su firmeza y durabilidad quedasen asegurados. Lo que no cabe la menor duda es que podían conocer los niveles alcanzados por determinadas avenidas y en función de esos datos fijar la rasante, pero difícilmente con ellos podían determinar la sección de desagüe necesaria para dejar pasar bajo sus arcos las posibles avenidas. En esta tesis hemos realizado una aproximación a este tema empleando conocimientos y técnicas actuales, que han permitido extraer algunas conclusiones, que serán expuestas más adelante.

La capacidad de desagüe que obtenían una vez elegida la disposición del puente está muy relacionada, desde el punto de vista de la durabilidad de la obra, con la calidad de la cimentación. Volviendo al puente de Ourense, es la capacidad de desagüe del arco central y la cimentación de la pila derecha apoyada en los lechos aluviales del Miño, la causa histórica de sus frecuentes derrumbes.

El **sistema constructivo** que elegía el ingeniero vendría determinado por los tipos de materiales a emplear, la sencillez de los procedimientos, la economía de los medios y el sentido siempre práctico de las soluciones elegidas, buscando la durabilidad del puente.

Finalmente y no de modo habitual, podían realizar **la decoración** u adorno de la fábrica con algunos elementos o detalles. En los puentes peninsulares se pueden encontrar algunos de estos elementos decorativos, de mayor o menor tamaño y significación. En los de la *Gallaecia* son poco frecuentes pero no carecen de ellos.

A continuación se detallan estos condicionantes de diseño previos a la construcción a los que posiblemente tuvo que enfrentarse el ingeniero romano al acometer la construcción de un puente.

4.4.1.- La ubicación de la obra

La elección del emplazamiento tuvo que ser realizada teniendo en cuenta unos condicionantes previos: el trazado de la vía, el posible aprovechamiento de un camino anterior, la existencia de una población ribereña, la morfología del cauce y las características geotécnicas de la zona elegida.

Las alineaciones a gran escala con las que los ingenieros romanos trazaron las vías, eran las que determinaban, en primer lugar, la ubicación de la obra que abarcaba una zona evidentemente amplia del río. Al descender en la escala territorial y fijar el preciso lugar de ubicación eran ya otros factores los que entraban en juego, como la existencia previa de un camino prerromano y la reutilización de su traza para la construcción de una vía determinó, sin lugar a dudas, la ubicación de algún puente. Un ejemplo de lo expuesto en primer lugar son los puentes de las vías 18 y 19, en los que para su ubicación pesó más la rectitud de la dirección. La existencia de un camino anterior que cruzaba el Miño en un vado fue la condición para elegir el lugar para llevar a cabo la construcción del puente romano de Ourense.

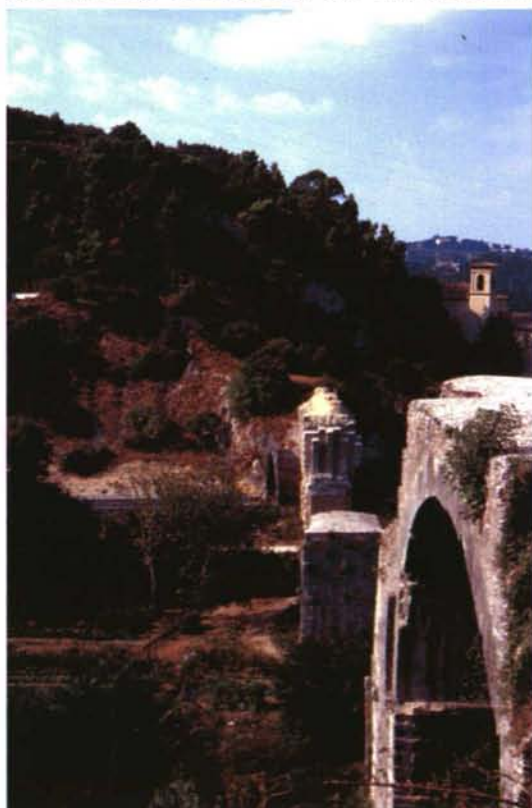
Sin embargo en otras ocasiones la forma de cauce o las mejores condiciones de la cimentación son la causa que determina el emplazamiento. Como dice Rivera "... ya de

antiguo se situaban los puentes en los estrechamientos de los ríos, donde las márgenes suelen ser más firmes" (Ribera, 1936, p. 35). Las obras eran también más cortas, económicas y duraderas. En este caso el trazado del camino se adaptaba al puente y si era previo a éste, se modificaba. El Ponte Bibei se ubicó en una zona estrecha del río, inmediatamente después de la unión de los tres ríos más importantes de la zona, el Bibei, el Xares y el arroyo de San Lázaro, que ahorraba la construcción de más puentes.



Alzado aguas arriba del Ponte Bibei (Ourense).

Las buenas condiciones de cimentación por la existencia de roca en ambas márgenes,



Vista de los restos actuales del puente de Augusto de Narni (Italia) derruido por colapso de una de sus nylas

completaron las razones que motivaron la construcción del puente en este lugar. Esta decisión fue acertada como lo demuestra la perfecta conservación del puente que ha dado paso desde la antigua vía 18 a la actual C- 536 de A Rua a Ourense. En este caso el trazado de la vía estuvo condicionado por la ubicación del puente, que exigió realizar unos costosos accesos, sustentados por numerosos muros, por la dificultad de la topografía incrementada por las exigentes condiciones de construirla con una pendiente reducida para que resultase cómoda de transitar. También se realizaron grandes desmontes en roca viva en los famosos Codos de Larouco, considerados por el Licenciado Molina (1550) como una de las grandes obras realizadas en España por los romanos (Alvarado, Durán, Nárdiz, 1989, p. 56).

4.4.2.- Las condiciones del terreno.

La escasa capacidad portante del terreno en la cimentación, su incorrecta construcción y la socavación han sido los motivos más frecuentes de la ruina y desaparición de muchos puentes romanos. El puente de Narni, en Italia, uno de los puentes de mayor envergadura de los construidos por los romanos, debe su colapso a la insuficiente capacidad portante del terreno sobre el cual se cimentó una de sus pilas, que asentó en demasía, y provocó la ruina de tres de los cuatro arcos, como explica Choisy: "... la ausencia de tajamares produjo remolinos que empezaron a socavar las pilas aguas arriba. Estas empezaron a desplomarse hacia la zona socavada sobre la que asentaban en falso. Las dos pilas que soportaban el gran arco experimentaron por esta causa desplomes y movimientos desiguales que produjeron el colapso de la bóveda" (Choisy, A., 1999, p. 123).

Todavía hoy no existe una formulación correcta del fenómeno de la socavación y las que existen son experimentales, por la dificultad de encontrar una fórmula que permita saber la profundidad que podría alcanzar para un determinado caudal. Este desconocimiento ha impedido históricamente diseñar la cimentación adecuada para evitar este fenómeno. Los ingenieros romanos y posteriormente los medievales intentaron mediante el pilotaje y la cubrición de todo o parte del cauce con losas en el entorno de las pilas y estribos. Puede verse



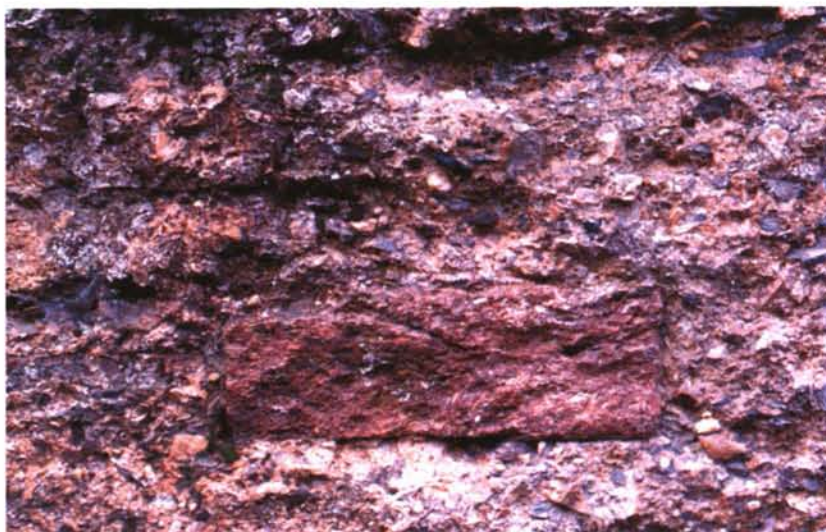
Enlosado para evitar la socavación de las pilas en el puente de Chaves (Portugal).

un enlosado en Ponte de Lima y Ponte de Chaves, posiblemente medievales o modernos, o bajo el Ponte Leproso de la vía Appia en Benevento (Galliazzo, 1995, p. 113-114). Un problema constante de socavación, como ya se ha dicho, lo tuvo el Ponte Vello de Ourense, en la cimentación de la pila derecha de su arco central ya que no se pudo asentar en los estratos de jabre que están a 10-12 m, cubiertos por unos estratos alubiales de gravas sobre los que, históricamente, la asentaron. Con ocasión de alguna gran avenida, esos terrenos no tenían la consistencia para resistir la acción erosiva del agua arremolinada por las perturbaciones del cambio en el régimen del río, y la cimentación perdía parte de su asiento provocando el giro de la pila y consecuentemente la ruina del gran arco central (luz de 37,98 m).

Para evitar los problemas de asentamientos diferenciales, y sobre todo la temible socavación que conocieron sobradamente los ingenieros romanos, procuraron cimentar todas sus obras en terrenos compactos y duros.

4.4.3.- Los materiales

El material empleado en la ejecución de la fábrica de un puente es una decisión del propio constructor, así como la forma de colocación o aparejo, siendo ambas decisivas para la definición de un puente. Tiene su propio lenguaje y cada uno de ellos expresa de distinta manera su comportamiento estructural. Si observamos los materiales utilizados por los constructores de los puentes de *Gallaecia* apreciamos que han sido varios, siempre elegidos entre los que ofrecía la naturaleza en sus proximidades. En el puente de A Pontóriga, construido para cruzar el Sil en las cercanías de la actual villa de O Barco de Valdeorras (Ourense)⁸⁵, se emplearon, seguramente, la madera de los bosques del entorno y la piedra de conglomerado rojo de la zona como árido del hormigón de cal de los núcleos de las pilas, como puede apreciarse en los pocos restos conservados.



Árido de conglomerado rojo de la zona de Valdeorras en el hormigón de A Pontóriga (Ourense).

Era un puente con arcos de madera, con una tipología similar a la que Apolodoro de Damasco le dio al puente sobre el río Danubio en Turnu Severin. Este tipo de puente debió ser muy frecuente ya que se trataba de una solución económica, rápida de ejecución y útil, objetivos perseguidos por el ingeniero romano, a pesar de los pocos restos conservados en todo el Imperio. En España quedan restos del puente de A Pontóriga y los que Fernández Casado señala en El Garro sobre el río Almonte, muy cerca del Puente de Alconetar (Fernández Casado, 1980, s.p.).

El granito es el tipo de piedra más empleado en la construcción de los puentes conservados de la *Gallaecia* por su buen comportamiento a la compresión, la facilidad de corte y por dejarse labrar con cierta facilidad, sobre todo algunas variedades relativamente blandas, que

son las mas empleadas (las de color albero o tostado). El granito es la piedra que más abunda en esta antigua provincia romana, pero hay otras zonas menos amplias (parte de Ourense y Lugo) en las que abundan los esquistos y la caliza que, posiblemente, se empleasen en algunos puentes, como el Vello de Lugo. No se conserva ninguno de los que se pudieron ejecutar con estos últimos materiales. La caliza pudo haber sido una materia prima adecuada para la obtención de la cal de los hormigones que se utilizaron en el relleno de las pilas (el *emplecton* según Vitrubio) de A Pontóriga, revestido con paramentos de sillería granítica (Alvarado, 1979, p.80).

En las zonas donde aflora las pizarras, las piedras lajosas fueron habitualmente empleadas en la construcción como puede verse por ejemplo, en la ciudad de Lugo donde se conservan obras realizadas con este material como las antiguas termas o las murallas, recientemente declaradas Patrimonio de la Humanidad, aunque en las bóvedas de las puertas y en las torres que las franquean se empleó sillería de granito, por su mayor dureza. En cambio en otros arcos o bóvedas de menor entidad como las canalizaciones del alcantarillado, descubierto hace algunos años, sí se emplearon las lajas de esquisto.



Porta Miñá de la muralla romana de Lugo, probablemente de aquella época.

Si ya es difícil datar un puente de piedra, lo es mucho más si está construido con lajas de esquisto, pues al no admitir labra carece de algunas características (p.e. el almohadillado de la sillería de granito) que impiden diferenciarlo de otros más tardíos. Todavía no se ha identificado como romano ningún puente antiguo de lajas. Estimamos que de existir debe ser un puente de dimensiones más bien modestas, pues en los de cierta envergadura, como la Ponte Vella de Lugo, los constructores romanos utilizaron el granito en la ejecución de las boquillas de los arcos, en las pilas y estribos, ya que al estar sometidos a la fuerza directa de la corriente del río su mayor dureza les hacía más resistentes. Las lajas de esquisto las emplearían en otras partes menos expuestas como los tímpanos y las manguardias.

85 Alvarado Blanco, S.: "A Pontóriga. Sobre los restos de un antiguo puente romano cerca de Sobradelo de Valdeorras". Boletín Auriense, tomo IX. Ourense, 1979, P. 89.



Detalle de la ampliación moderna del puente romano de Lugo.

Algo similar sucedió con el ladrillo en otras zonas de *Hispania*, material muy utilizado en todas las épocas, pero al estar sus medidas muy estandarizadas, aportan una información que puede ser útil en la datación de la obra. En la construcción de la Alcantarilla de Mérida se emplearon de forma inteligente los tres materiales más utilizados en la construcción romana, la piedra, el hormigón y el ladrillo, éste último fue empleado en el interior de la bóveda, posiblemente por desconfiar su constructor de su capacidad para resistir largo tiempo (no olvidemos que los romanos construían las obras para que durasen eternamente) los embates de las aguas del arroyo en crecidas, por lo que las boquillas las hicieron con el duro granito de la zona con el característico almohadillado.



Alzado aguas arriba del puente Viejo o Romano sobre el río Odiel, cerca de Aracena (Huelva).

El ladrillo es el material empleado en otro posible puente romano conservado en la provincia de Huelva⁸⁶, construido sobre el río Odiel que daba paso a un tramo de vía entre

⁸⁶ Ruiz Acevedo, J.M: "Las vías romanas en la provincia de Huelva". Diputación Provincial de Huelva, 1998.

Urion y Arucci. Es un puente de dos arcos, uno sobre el cauce de aguas normales de 9,75 m y otro más pequeño en la margen izquierda por el que pasan solo las aguas crecidas, de 4,88 m de luz. Este último es el que más nos llamó la atención en cuanto a su posibilidad de que fuese romano.

Hay en este puente y en este arco en particular varios detalles que podrían confirmar un origen romano del puente y la posibilidad de que este arco menor se conservase de aquella época. El de mayor luz lo hemos descartado pues nos parece moderno. Volviendo a los detalles que tiene el puente, destacamos que la anchura de la bóveda es de 5,80 m (cercana a los 6,00 m medida muy frecuente en las obras romanas), el ladrillo empleado es de 1 pie x 1/2 pie, y en el arco pequeño la disposición constructiva de los ladrillos es igual a la de la Alcantarilla de Mérida (cuya romanidad está fuera de dudas), ya que la mitad central de la boquilla tiene mayor espesor, 2,5 pies, que el resto que tiene 2 pies. La propia luz del arco menor, 4,88 m, es un valor muy próximo a los 16,50 pies y exactamente la mitad del arco grande (relación 1:2). La rasante de la plataforma del puente también es muy del estilo de los romanos (similar a la del puente de Rimini) con un tramo central horizontal, entre los ejes de los dos arcos y en ligera pendiente en ambas rampas de los accesos.



Tamaño del ladrillo empleado en el puente Viejo sobre el río Odiel.



Vista aguas arriba del arco menor del puente Viejo sobre el río Odiel.

4.4. 4.- El desagüe

Desconocemos el nivel de conocimientos que poseían los constructores romanos sobre el comportamiento hidráulico de los ríos a su paso por los puentes, si en sus diseños tenían en cuenta el nivel alcanzado por las crecidas y los efectos reales de las aguas sobre la cimentación o el cuerpo del puente. En un anexo adjunto aportamos el estudio del comportamiento hidráulico de las avenidas de algunos ríos de *Gallaecia* a su paso por los puentes romanos conservados.

Todavía no hace mucho años J. Eugenio Ribera (Ribera, 1936, pp. 45 y ss.) refleja el estado de la cuestión del desagüe de los puentes a principios del siglo XX: "En todos los países ocurren hundimientos de puentes. Casi siempre son producidos por violentas crecidas, cuando los desagües son insuficientes. Si las luces del puente no son bastantes para el desagüe normal de las crecidas, tiene que contraerse su sección". Continúa explicando el efecto que el puente causa en el régimen del río pues el río se remansa aguas arriba, produciéndose un salto entre la parte alta aguas arriba y el nivel a la salida del puente, que provoca el aumento de la velocidad de las aguas que puede alcanzar la que produce la socavación de los cimientos del puente. Ribera no cree en las teorías hidráulicas de la época ya que no las considera aplicables en el diseño de los puentes, pues "todas ellas nos parecen algún tanto fantásticas" (Ribera, 1936, p. 17). El estudio y fijación de los niveles de estiaje, crecidas ordinarias y extraordinarias, enmarcaban la decisión si debía "proyectarse el puente para dar paso a las crecidas ordinarias solamente o si ha de ofrecer desagüe bastante para la mayor crecida extraordinaria, por muy excepcional que haya sido". En función de la forma del valle, ya tenga forma triangular o trapezoidal con terreno firme, ya sea uno ancho, llega a la conclusión que los puentes han de construirse para desaguar las avenidas normales que se producen con cierta periodicidad. Las avenidas extraordinarias no producirán socavación en el primer caso por la dureza del terreno, y en el segundo caso las aguas invadirán amplias llanuras de inundación a ambos lados del puente, que cortarán los caminos, se suspenderá el tránsito y el puente dejará

de ser útil, por lo que podrá ser rebasado sin consecuencias ya que las aguas circularán con una baja velocidad. Termina Ribera con estas desalentadoras palabras: "Ante tamañas discrepancias de criterio (sobre las fórmulas hidráulicas empíricas aplicables a una determinada ubicación) y la inexactitud de las hipótesis admitidas, considera el autor preferible confiarse al ojo clínico del ingeniero, adquirido por la observación de los puentes inmediatos, si los hubiese, o por la experiencia propia, aplicada a cada emplazamiento" (Ribera, 1936, p.66).



Placa metálica señalando la altura del agua en una avenida histórica del Tâmega en el puente de Chaves (Portugal).

Si el nivel de conocimientos de la primera mitad del siglo XX expresados por Eugenio Ribera era bajo e insuficiente a pesar de contar con algunas formulaciones que intentaban solucionar el problema, podemos pensar, con lógica, que en la época romana lo eran todavía más. Si avanzamos en el tema entramos, evidentemente, en el campo de la especulación por la falta absoluta de documentación, pero aun así vamos a intentarlo analizando la disposición constructiva, la capacidad de desagüe y el comportamiento del río crecido en los puentes romanos de *Gallaecia*, de lo que esperamos extraer algunas conclusiones (ver anexo).

En una primera apreciación, si observamos los diseños de algunos puentes como el de Alcántara o Bibeí, podemos preguntarnos si en ellos fue determinante el deseo de darles una gran capacidad de desagüe. Y la respuesta, desde mi punto de vista, es afirmativa basándome en varias consideraciones: la primera es que ambos puentes pudieron construirse con dimensiones más modestas y más económicos. La segunda es que la altura de sus plataformas no está condicionada por los caminos que lo atravesaban. La tercera es que su propia conservación durante veinte siglos, demuestra que se diseñaron con una buena capacidad de desagüe. Es evidente que durante ese largo período de tiempo pasaron fuertes avenidas bajo su arquería. Para el caso del puente de Alcántara, Fernández Casado dijo que "... a primera vista parece el puente desproporcionado a las condiciones hidráulicas del río, pero en cuanto se pone en relación con el nivel de máximas avenidas destaca su adecuación funcional".



Avenida de 9.400 m³/s del Tajo en el puente de Alcántara en febrero de 1947.

Se conservan dos antiguos planos de los alzados, ambos del siglo XVIII, uno debido a Esteban Rodríguez y otro de autor anónimo que se encuentra en el Archivo Histórico Nacional (Fernández Casado, 1980), en los que se pueden ver indicados los niveles de las aguas bajas, "la mayor menguante" en el primero de los planos y "agua en su natural" señalado en el segundo, y las mayores avenidas, "la mayor creciente de ciento sesenta pies y diez pulgadas", que pasa por debajo de todos los arcos.

Los dos ejemplos que hemos puesto son puentes construidos en valles cerrados con secciones transversales de forma triangular y con cauces rocosos, que ya Ribera considera que la cuestión hidráulica "ofrece escasa importancia", pero siempre, claro está, que la rasante esté elevada convenientemente. Hay otros casos en los que la rasante no es tan elevada, como en el Ponte Freixo o el Ponte do Arquinho (Poçacos-Valpaços-Portugal), por lo que han visto rebasados por alguna gran avenida que les provocó la ruina de los estribos pero no el cuerpo



Estribos de mampostería de poca calidad del Ponte do Arquinho (Portugal)

de los arcos debido, posiblemente, a la gran inercia que ofrecen a la corriente, menor superficie ante la corriente y una sillería de calidad bien trabada. En cambio los estribos si se han arruinado ya que son más débiles ya que oponen a la corriente la mayor superficie de sus muros de acompañamiento, contruidos en algunos casos, con una fábrica de peor calidad.

En puentes contruidos en valles llanos y amplios, como el de Chaves o el Ponte de Pedra, vemos como se repite un modelo bastante utilizado en *Hispania*, de numerosos arcos de luces modestas (en torno a los 10,00 m), rasante horizontal y accesos en rampa. En este caso la cuestión hidráulica revestía una menor importancia ya que si el río crecía y salía de madre, las aguas por ambos lados avanzaban por las llanuras de inundación de gran extensión con relación al puente y a una cota ligeramente inferior a la de la calzada del puente, que emergía de las aguas. En caso de que la avenida fuese de carácter extraordinario, como veremos en el Anexo, el puente es rebasado sin consecuencias, ya que la velocidad de las aguas es pequeña por la gran sección inundada.

Como se verá más adelante creemos que los constructores romanos disponían de un conjunto de conocimientos hidráulicos de los puentes que estimamos similar a lo que tenían los técnicos hasta el siglo XVII, que requerían como dato previo para la composición de los puentes la información de los niveles alcanzados por las grandes avenidas, y en función de ellos fijaron las rasantes de las plataformas y la longitud total de la obra. Procuraron cuidar la cimentación para que no fuese socavada pues los efectos de este fenómeno lo conocían aunque no supieron resolverlos eficazmente.



Alzado aguas arriba del Ponte de Pedra sobre el río Tuela (Portugal).

En cuanto a la tipología del puente, normalmente lo diseñaron de modo que la bóveda principal fue planteada para salvar el cauce normal y el resto de los arcos lo eran, en algunos casos, siguiendo determinadas proporciones, relación armónica en el puente de Alcántara (Fernández Casado, 1980, s.p.; Liz Guiral, 1988, p. 168) y sección áurea en Ponte Freixo (lo veremos más adelante). En otros casos plantearon disposiciones simétricas en su geometría con luces desiguales (puentes de Alcántara, Villa de Río, Pedroches y Freixo) o con sus luces

prácticamente todas iguales (puentes de Pedra, Alcantarillas, Caparra, Vila Formosa, Chaves, Albarregas y Salamanca), siendo esta última disposición muy abundante en los puentes contruidos en valles amplios y llanos.

Los conocimientos prácticos que poseían les permitían disponer de algunos elementos que mejoraban la hidrodinámica del puente, como los muros de encauzamiento, los tajamares que construyeron en el frente de las pilas, pero no los espolones que evitan los perniciosos efectos de la socavación en la parte aguas abajo.



Sillares romanos en la fábrica actual del puente Vello de Ourense.



Para aumentar la sección de desagüe y disminuir la opacidad de los amplios paramentos de los tímpanos inventaron los arquillos de aligeramiento o desagüaderos por los atravesaban de lado a lado.

De todo ello trataremos más adelante.

Desagüadero del tímpano del puente Fabricio (Roma), visto aguas abajo.

4.4.5.- La composición o disposición.

La aptitud del artífice romano ante la composición de un puente es algo que desconocemos. Con carácter general Vitrubio aconsejaba que las edificaciones cumplieren tres exigencias: *firmitas*, *utilitas*, *venustas*, solidez, utilidad y belleza. El concepto teórico de la disposición constructiva era lo que denominaba y describía, con cierta confusión, la *symmetria*, que no era lo que actualmente entendemos por simetría, sino que se refería a que todas las partes debían estar interrelacionadas entre sí por su participación en un módulo de medida común, que es la base de sus dimensiones (Vitrubio, libro I, capítulo II, 17). Mediante estas *conveniens consensus* entre las partes y el todo se consigue, según Vitrubio, la *eurhythmia*. Las relaciones de medidas se determinaban mediante la aritmética, "... que resuelven intrincados problemas de las proporciones", o por la geometría.

En pocas obras de fábrica conservadas parece deducirse que recurrían a esos conocimientos aritméticos y geométricos, pues en general no se perciben unas relaciones aritméticas o geométricas claras entre sus dimensiones más importantes. Por la reiteración de ciertas características constructivas y detalles en puentes de todo el Imperio, parece que la mayoría responden a diseños conocidos, más o menos ensayados, y a métodos constructivos probados.

Por alguna de las cartas que dirigió Plinio El Joven al emperador Trajano, cuando fue gobernador de *Bithinia* en la actual Turquía⁸⁷ se sabe que la actitud inicial, no solo del ingeniero o arquitecto, sino del promotor de muchas obras públicas en aquella época, era el pragmatismo más realista reflejado en el planteamiento constructivo más fácil y barato. Así, en el caso de la terminación del acueducto de Nicomedia (Liz Guiral, 1988, p. 122), Plinio se muestra partidario de aprovechar algunos tramos ya contruidos, la reutilización de los materiales antiguos y la terminación de la obra con ladrillo, pero realizando la obra desde el punto de vista de la máxima utilidad; recomendaba que en algunos tramos se realizase sobre una estructura de arcos para que llegue el agua a la ciudad lo más alta posible para dar un mejor servicio.

Concretada la composición de la obra, en función de la ubicación, el terreno, los materiales disponibles, los medios auxiliares posibles, la cualificación de la mano de obra y los recursos económicos habilitados, es cuando el ingeniero romano se disponía a diseñar con detalle todos los elementos que la compondría: los cimientos, el cuerpo de sustentación (estribos y pilas), los arcos o bóvedas, los tímpanos y la plataforma.

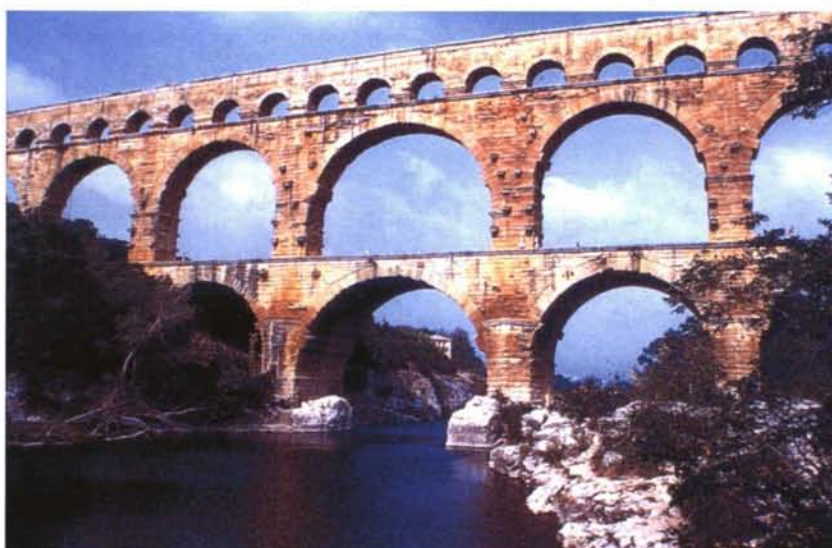
4.4.5.1.- Cimientos

El arquitecto romano Vitrubio (III, 3) aconseja cavar zanjas buscando suelo firme, y en caso de encontrarlo, se construirán los cimientos con mayor anchura que los elementos a apoyar y serán de la más sólida estructura. Sobre la profundidad no dice nada aunque es evidente que las condiciones geotécnicas del terreno en lo referente a la capacidad portante mejoran a mayor profundidad. Los *Mappae Claviculae*, mencionados por Mesqui (Mesqui, 1986, p. 229), que reproducen, posiblemente, sistemas de cimentación superficial de tradición romana,

establecen una relación directa entre la profundidad de la cimentación con la altura del puente, proponiendo el copista dar una profundidad igual al cuarto de la altura de la obra, añadiendo a ésta la altura del tablero según esté construido con bóvedas de fábrica o con madera. También aconseja la búsqueda de terreno firme y que se desconfíe de los suelos mezclados con piedras, por lo engañosos que suelen resultar en cuanto a su firmeza.

Para la construcción de los cimientos recurrirían, en ocasiones, a diversos procedimientos:

- la realización de un desvío del río, tal como se ha conjeturado que ocurrió en la construcción del puente de Apolodoro de Damasco sobre el Danubio;
- la contención del río con presas provisionales de tierra y piedras durante el tiempo de construcción de las cimentaciones, realizada en ríos de caudales de cierta importancia y en épocas de estiaje;
- la excavación de las márgenes del río realizando un canal que permitía confinarlo por él. Este procedimiento fue el que se utilizó en la construcción del puente-acueducto de Pont du Gard, donde se ensanchó el lecho rocoso natural para facilitar la ejecución en seco de la cimentación de las pilas más cercanas al cauce (Smith, 1993, p.161).



Vista aguas abajo del puente-acueducto de Pont du Gard (Francia).

El caso más sencillo es aquel en el que la cimentación se realiza sobre terreno firme, asentando la sillería directamente. En ocasiones la sección de apoyo era mayor que la del resto, ya que daban un ligero escarpe o escalonamiento a las primeras hiladas. Se observa esta disposición en los cimientos de tres pilas del escasamente conservado puente romano de Lugo, en el puente de Segura y en Pont Julien (Francia). Esta primera hilada de mayor superficie permite disminuir las tensiones transmitidas al terreno.



Cimentación escalonada de una pila del Pont Julien (Francia).

Otro procedimiento bastante usual es el observado en las pilas del Ponte de Chaves (Portugal), que consiste en la colocación de una primera hilada de sillares tumbados, a modo de zapata, que también permite disminuir las tensiones en el plano de cimentación. En el Ponte Freixo la fábrica de los tajamares la apoyaron sobre sillares tumbados sobre el lecho rocoso del río, a modo de zapata.



Sillares tumbados en la cimentación del tajamar del Ponte Freixo (Ourense).

La zona de apoyo, en muchos casos, se labraba y cajeaba para alojar la cimentación en uno o varios escalones, más o menos horizontales, como se ve en Ponte Bibei y en A Pontóriga, por citar dos ejemplos de puentes de la *Gallaecia*, en el puente de Segura y en el de Alcántara (Liz Guiral, 1988, pp. 67 y 68), ambos en la provincia de Cáceres, en el San Martín de Aosta y en de la Abadía cerca de Vulci, estos últimos en Italia.



Labra en la roca del cauce para asiento y encaje del tajamar en A Pontóriga (Ourense).

En ocasiones esa labra era muy superficial o inexistente, como se ha podido comprobar, por ejemplo, en la cimentación del puente de Segura y del Ponte Freixo durante los trabajos de consolidación (1988-1989), donde la roca de asiento no presenta ningún desbaste o rebaje quizá debido a la urgencia de su construcción o a la confianza de conseguir un buen asiento acuñando los primeros sillares.



Falta de labra para asiento de la fábrica de una de las pilas del Ponte Freixo (Ourense).

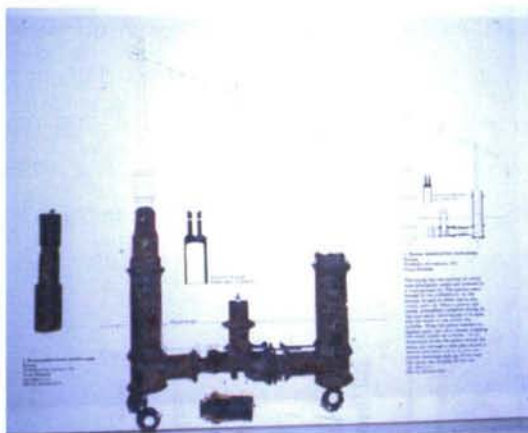


Falta de labra en el cimientó de una pila del puente de Segura (Cáceres).

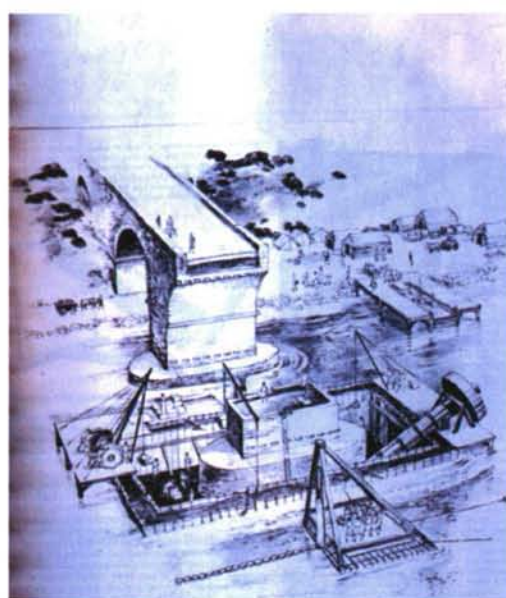
Los pontífices romanos empleaban, en algunas ocasiones, métodos especiales de cimentación, conocidos por medio de excavaciones arqueológicas y en determinadas obras de reconstrucción. En el caso de que se intentase realizar una cimentación superficial en medio del río, se cerraba la zona elegida mediante la construcción de una ataguía de tierra o con dos filas de pilotes separadas cuyo interior se rellenaba con arcilla y se achicaba el agua de su interior, dejándolo en seco. El primer sistema mencionado se empleó, fundamentalmente, en aquellos ríos de calados pequeños, sobre todo en tiempos de estiaje. Este fue el procedimiento empleado en la cimentación de las pilas centrales del puente de Alcántara. El segundo procedimiento se empleó en ríos profundos. Se utilizó, por ejemplo, en la construcción de las pilas del segundo puente de Treveris (siglo II d.C.) en pleno cauce del río Mosela. Los restos del tablestacado fueron descubiertos en las excavaciones llevadas a cabo por H. Cüppers (Galliazzo, 1995, pp. 280 y ss. Tomo II). En este puente, que se conserva en la mencionada ciudad germana, la plataforma original era de madera, formada por vigas con jabalcones.

Para achicar el agua del interior de estos recintos los romanos poseían máquinas hidráulicas de buen rendimiento, como los tímpanos, las cadenas con cangilones, las ruedas hidráulicas descritas por Vitrubio en su libro X, y los tornillos de Arquímedes (Bonnin, 1984). Quizá las bombas aspirantes-impelentes de Ctesibio no se empleaban para este menester por su menor tamaño que implicaba un menor caudal bombeado. El mejor ejemplar conservado de este artificio se halla en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, procedente de una mina de Sotiel-Coronada (Huelva)⁸⁸.

⁸⁸ Fernández Casado, C.: "Ingeniería hidráulica romana". Colegio de Ingenieros de Caminos, C. y P. - Ediciones Turner. Madrid, 1983.



Restos de una bomba aspirante/impelente romana (Museo Británico).



Tornillos de Arquímedes de achique empleados en época romana. (Hammey, L.A y J.A.)

En algunos casos, si se trataba de un río caudaloso y no conseguían construir una ataguía suficientemente estanca, ejecutaban normalmente la cimentación de forma apresurada sobre una escollera, con resultados deficientes. Así se cree que aconteció en el puente de Alcántara, según Fernández Casado en la cimentación de la pila central derecha.

Cuando el terreno no poseía la capacidad portante adecuada, los ingenieros romanos trataban de conocer la profundidad del terreno firme con la hincada de una barra metálica. Si sufrían rechazo al llevar una determinada profundidad saneaban el terreno con una escollera o con un hormigón ciclópeo de piedras y hormigón de cal. Si la pica la hincaban sin dificultad, recurrirían al pilotaje. El primero de los procedimientos ha sido observado durante las obras de reconstrucción del puente Savignano situado cerca de la ciudad italiana de Rimini (Galliazzo, 1995, tomo II, p. 131 y 132), llevadas a cabo entre 1964 y 1967. El puente posee tres arcos de 6,50 m de luz y sus dos pilas de 2,40 m de espesor y los estribos se cimentaban en una infraestructura enterrada formada por una primera capa de hormigón ciclópeo de 8 m de ancho (1,80 m más que la de las bóvedas) y 2,50 m de espesor y otra de remate formada por un enlosado de bloques escuadrados. Las pilas y los estribos apoyaban directamente sobre este

enlosado y con el fin de evitar el deslizamiento, colocaron unos gruesos pernos de hierro en unos huecos que aseguraban las pilas a la masa pétreo del enlosado. Si se realizaba una cimentación profunda con pilotes, las pilas y estribos se apoyaban sobre un encepado o emparrillado de madera que formaba el plano de fundación y arriostraba las cabezas de los pilotes de madera, hincados en el terreno, con la punta generalmente reforzada con azuches metálicos. Vitrubio aconseja, en este caso, proceder a hincar "estacas de chopo, de olivo o de roble, chamuscadas, metiéndolas a golpe de máquina".



Reconstrucción realizada a finales del XIX de la cimentación del puente romano de Maguncia (Alemania) sobre el Rhin.

Una cimentación de este tipo la realizaron para el primer puente construido sobre el río Mosela en la ciudad alemana de Treveris en el año 44 d.C., sobre la que se apoyaban pilas de piedra. Un sistema similar de cimentación está descrito por Vitrubio para los muros, cuando no se encontrase suelo firme, hincándose pilotes chamuscados, para darles mayor durabilidad y resistencia, de madera de roble, aliso u olivo, con ayuda de una máquina (Vitrubio, 1992, p. 69). Los pilotes hallados en Treveris llevaban en su punta azuches metálicos de refuerzo para la hincia (Mesqui, 1986, p. 229).

El pilotaje también fue empleado en los ríos caudalosos de Galia y Germania, mientras que en *Hispania* no se ha hallado ningún resto que indique su utilización, quizá porque no fuese necesario dado el bajo caudal de los ríos, sobre todo en período de estiaje.

4.4.5.2.- Las pilas y estribos.

Las pilas y estribos, las cepas como los denominan los tratados antiguos de arquitectura, tienen la misma función de transmitir al terreno las cargas muertas o permanentes y las sobrecargas del puente. Los estribos, llamados por el autor romano Cicerón "cabeza del puente" o por Livio la "extremidad del puente" (Galliazzo, 1995, p. 349), no solo soportan esas cargas, sino que deben aguantar los empujes de las bóvedas que sobre ellos se apoyan. La resultante de este empuje y el resto de las cargas debe transmitirse a la cimentación por la masa del estribo.

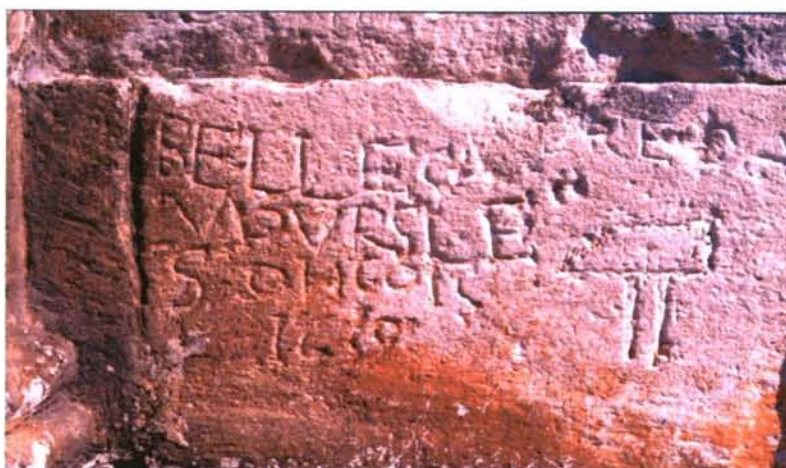
Las pilas tienen la misma misión de sustentación que los estribos, pero a ellas llegan de los empujes de las bóvedas que apoyan a cada lado. Si sus luces son similares y las bóvedas se construyen a la vez, la componente horizontal de sus empujes se contrarrestan entre sí y la pila resulta equilibrada únicamente sometida a pequeños empujes horizontales. Esta posibilidad permite disminuir el espesor de las pilas pues necesita menos materia para alojar en su interior la resultante de las fuerzas que es prácticamente vertical. Esta intuición la tuvieron los romanos cuando construyeron los puentes de arcos rebajados de Padua, cuyo ejemplo más interesante es el puente de San Lorenzo, cuyos restos, enterrados bajo una plaza de esa ciudad, permiten comprobar la extraordinaria delgadez de las pilas. Construido entre los años 40-30 a.C. tenía tres bóvedas rebajadas de 12,75-14,38-12,50 m - una disposición prácticamente simétrica - y de 8,58 m de anchura (Galliazzo, 1971, pp. 73 y ss.). Las pilas tienen unos espesores de 1,96 y 1,78 m, realmente estrechos para la época, que muestran la gran calidad técnica alcanzada en aquellas fechas tan tempranas. La estabilidad de la pila se conseguía siempre que las bóvedas se ejecutasen a la vez y que posteriormente, a lo largo de su vida útil, no se arruinase una de ellas, puesto que la pila no tenía masa suficiente para albergar el empuje de una sola bóveda. Apenas hay puentes con bóvedas rebajadas y pilas esbeltas, pues o se han caído por las causas expuestas o no se construyeron era una forma alternativa al medio punto menos estable y posiblemente más cara.

Tendrían que pasar algunos siglos para que los conocimientos teóricos sobre la estabilidad de los arcos permitiesen a sus constructores comprender su funcionamiento, y diseñarlos con la forma más adecuada a las cargas soportadas (directrices iguales o parecidas al antifunicular de esas cargas). El desconocimiento teórico que tenían los artifices de puentes de época romana sobre la estabilidad de los arcos por el insuficiente nivel de conocimientos matemáticos y físicos de aquella época, no les impidió acumular la suficiente experiencia que les permitió construir grandes puentes que todavía hoy nos asombran. Posiblemente esa experiencia les ayudó a desarrollar algunas reglas de tipo aritmético y geométrico, proporcionales, similares a las que debieron existir en el medievo y en épocas posteriores, algunas de ellas recomendadas por tratadistas españoles como Rodrigo Gil de Hontañón (1500-1571), Martínez de Aranda (finales del XVI-comienzos del XVII), o Fray Lorenzo de San Nicolás (siglo XVII) (Huerta Fernández, S., Madrid, 1990), e ilustres arquitectos italianos como Alberti (Mesqui, 1986, p. 178) a mediados el siglo XV, Palladio (~ 1570), o grandes ingenieros franceses como Blondel (siglo XVII) o Gautier. Estas fórmulas que pervivieron durante mucho tiempo y que todavía ayudaron al diseño de muchos puentes modernos, fueron sustituidas, a partir del siglo XIX, por fórmulas empíricas propuestas por ingenieros con gran experiencia en la construcción de puentes, como el francés Sejourné que propuso unas fórmulas de diseño después de analizar, medir y comparar 3.300 puentes⁸⁹. Estas reglas siempre fueron cuerpos teóricos que nunca exigieron grandes conocimientos. Así en el tratado que sobre la construcción de puentes del P.Pontones (comenzado en 1759 y concluido en 1768) dice que

89 Séjourné, P: "Grandes voûtes". Bourges, Veuve Tardy-Pigelet et fils. 1913-1916.

toda la exigencia matemática se reduce a la "... inteligencia de la aritmética inferior, algo de geometría práctica y la raíz cuadrada" (León y Sanz, 1994, p. 246).

El ingeniero romano posiblemente hizo lo que Eugenio Rivera escribía no hace muchos años: "... no motejemos a la experiencia y al empirismo, que es resultante de aquella; copiemos lo que han hecho otros, y no recurramos al cálculo sino con una fe proporcional a nuestra confianza en sus hipótesis" (Rivera, 1936, p. 34), o el Padre Pontones en el siglo XVIII: "... seguir las huellas ya pisadas para buscar el acierto que otros han conseguido". El gran mérito de los ingenieros romanos fue haber sido pioneros en esta especialidad constructiva, sin precedentes en los que inspirarse, circunstancia que sí tuvieron posteriormente los maestros canteros medievales y los arquitectos renacentistas que visitaban, medían y analizaban las realizaciones romanas para aprender de ellas. Numerosas inscripciones realizadas por maestros francmasones franceses en sillares del Pont du Gard y Pont Saint Chamas, dan testimonio de estas visitas técnicas.



Grabados de francmasones en un sillar de uno de los arcos de triunfo del Pont de Saint Chamas (Francia).

Esas reglas "proporcionales" tuvieron éxito ya que la condición más restrictiva de las fábricas de piedra, como ha demostrado el análisis a rotura, no es la resistencia sino la estabilidad. Una estructura es estable si tiene unas dimensiones adecuadas que están relacionadas con su forma geométrica. Esto conduce a la existencia de "proporciones" válidas para el diseño de las estructuras arqueadas.

De los estribos de los puentes romanos se destacan algunas características:

- Los estribos de la mayoría de los puentes conservados están realizados con una sillería de piedra que presenta, muy frecuentemente en su cara exterior, el clásico almohadillado, y también con frecuencia la utilización de un aparejo con hiladas alternas de piezas a soga y tizón.
- No suelen ser muy largos, más bien cortos, entre 2 y 9 m, ya que de este modo no estrechaban mucho la sección de desagüe natural del río, siempre que no se trate de una simple abertura o arcada que "perfora" un terraplén o murallón de la plataforma

viaria, en cuyo caso los estribos son de mucha longitud. También es grande si la rasante de la plataforma se elevaba con respecto al río (p.e. en el puente de Augusto en Ascoli Piceno).



Alzado aguas abajo del puente de Augusto de Ascoli-Piceno (Italia).

- La anchura del estribo normalmente es similar a la de las bóvedas que en ella se apoyan, aunque en algunos casos es mayor (p.e. en el Ponte della Badia en Vulci o el Ponte di Pietra de Aosta).



Anchura variable de los estribos del puente de la Abadía (Italia).



Estribo izquierdo, vista aguas abajo, del Ponte di Pietra de Aosta (Italia).

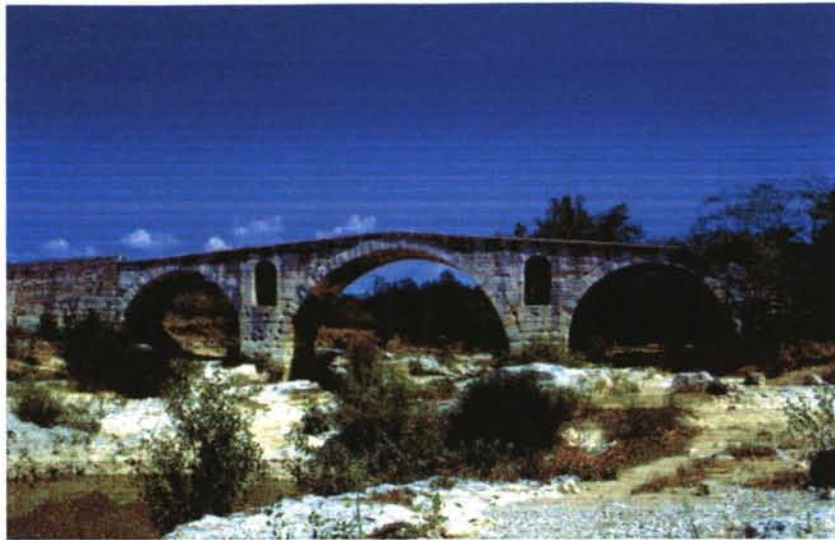
- Su altura pudo estar condicionada por el nivel de las avenidas conocidas y por la rasante de la plataforma que conectaba con el trazado de la vía, algunas veces realizado con exigentes condiciones. Normalmente tiene un valor que oscila desde alturas, llamémosles “normales”, de 4 a 8 m a otras mayores como los 17,50 m de Ponte Bibei o los 25 m del Ponte di Cecco en Ascoli Piceno.



Alzado aguas abajo del Ponte di Cecco en Ascoli-Piceno (Italia).

- Los estribos están alineados con el resto del puente en la mayoría de los casos. Son escasos los puentes que para acceder al puente la planta del estribo presenta un quiebro o es curva.
- En cuanto a la rasante de los estribos, puede ser horizontal, la mayor parte de los casos, o tener una cierta pendiente o rampa, generalmente de poca inclinación, por ejemplo en el Pont Julien en Francia. Los puentes peninsulares de Alcántara y Mérida han tenido una rasante en ligera doble pendiente que les fue corregida en actuaciones llevadas a cabo en el siglo XIX para su adaptación al tránsito de vehículos. El de Villa

del Río todavía conserva una ligera rasante en "lomo de asno", aunque desconocemos si la plataforma original, hoy desaparecida, tuvo esa doble pendiente.



Rasante en doble pendiente del Pont Julien (Francia).

- Son escasos los puentes romanos con esviaje con respecto al río. Normalmente se construyeron rectos, ya que la fabricación de los sillares y la estereotomía de las bóvedas es mucho más sencilla. Sin embargo se conserva algún puente con un ligero esviaje, como es el caso del puente de Augusto en Rimini (Italia) que fue construido con unos 11 ° de esviaje, o el puente de Nona cerca de Roma. Ninguno de los puentes peninsulares tiene esviaje.



Vista parcial del puente de Augusto o de Tiberio en Rimini.



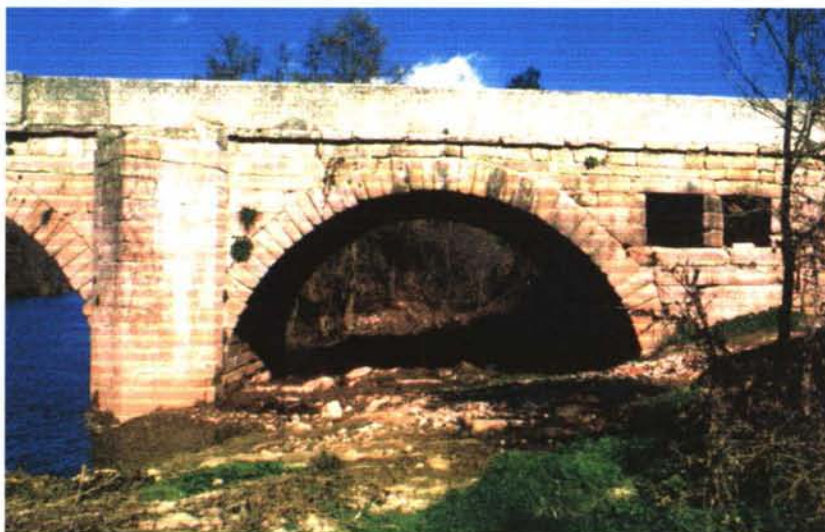
Arco del puente de Nona cerca de Roma en la vía Preanestina.

- En algunos casos cuando los muros de acompañamiento eran largos realizaban en ellos una segunda bóveda, más pequeña, a modo de desagadero. Este es el caso del Ponte Pedriña y muy posiblemente el puente de San Miguel (Portugal). Es una disposición que se encuentra cuando se construye el arco de mayor luz sobre el cauce principal del río y la relativa lejanía de una de las laderas exige construir el estribo con manguardias largas. Para facilitar el paso de las avenidas y disminuir la presión del agua sobre ellas se construye esa segunda bóveda a modo de desagadero. La fábrica que queda en medio de las bóvedas no la podemos considerar una pila ya que tiene un gran espesor y carece de tajamar.
- La construcción de pequeños desagaderos en los estribos a modo de tajeas generalmente adinteladas no es frecuente. En el puente de Albarregas se pueden ver dos en la orilla izquierda cubiertas con dos sillares en voladizo con la parte inferior labrada en curva, imitando una forma arqueada, de 1,23 y 1,05 m de luz, pero no es segura su construcción en época romana. Celestino Espinosa en su trabajo publicado en la Revista de O.P. menciona este puente y en particular sus cuatro arcos y estas dos pequeñas aberturas, diciendo que "en el siglo XVIII se conservaban bien" (Celestino de Espinosa, 1878/79, tomo XXVI, p. 202).



Arco y desaguaderos del estribo izquierdo del puente de Albarregas en Mérida (Badajoz).

Entre los puentes de la *Gallaecia*, el Ponte de Pedra es el único que tiene dos aliviaderos rectangulares en cada estribo, de 1,15 a 1,30 m de luz y 1,20 a 1,50 m de altura, contruidos a media altura.



Arco y desaguaderos adintelados del Ponte de Pedra, en el estribo izquierdo vistos aguas abajo.

- En ocasiones los muros de acompañamiento no forman un ángulo de 90 grados sexagesimales con el plano del estribo, sino que a modo de aletas forman uno mayor. De toda la península únicamente los puentes portugueses Ribeira do Forno y San Miguel, en la vía 18 a su paso por la Serra do Gerês, poseen estos muros abiertos, con una buena sillería almohadillada y con hiladas alternas de piezas a soga y tizón.



Muro de encauzamiento del estribo derecho, aguas arriba, del Ponte de San Miguel (Gêres-Portugal).

- En tres puentes de la *Gallaecia* se construyeron a la entrada y salida de la bóveda muros de encauzamiento, a modo de aletas. En todos ellos el río tiene una pendiente pronunciada, con cuencas relativamente pequeñas pero con altos coeficientes de escorrentía, que producen rápidas e importantes avenidas. Estos puentes son el Bibei, el Navea y el Ponte do Arquinho, que conservan parte de esos muros de encauzamiento, sobre todo del lado aguas arriba. Solo el Ponte Navea conserva un muro aguas abajo en prolongación al estribo (margen derecha), paralelo a las líneas de corriente del río. En el puente Bibei los muros están en ambas orillas del lado aguas arriba y en el Ponte do Arquinho solo se conserva el de la margen izquierda del lado aguas arriba. En todos los casos salvo el de la orilla derecha del Ponte Navea los muros se abren unos 45° , a modo de aletas, con respecto al plano del puente.



Aleta del estribo izquierdo, lado aguas arriba, del Ponte do Arquinho.

- Destacar finalmente que sólo los estribos de algunos puentes construidos en Italia tienen del lado de aguas arriba un tajamar y en otros casos contrafuertes adosados a los muros de acompañamiento, construidos en el lado aguas arriba, en el de abajo o en ambos.

Con respecto a las pilas podemos indicar las siguientes características:

- Los paramentos exteriores de las pilas de la mayor parte de las obras romanas están realizados con sillería de piedra, aparejada en seco, con juntas de cuidada labra. La disposición de hiladas alternas de sillares colocados a tizón y a soga es un detalle constructivo relativamente frecuente, sobre todo en la parte de la pila que queda por debajo del nivel de los arranques de las bóvedas, el denominado cuerpo principal. Esta forma de aparejar, cuya finalidad es mejorar la trabazón de la fábrica, se ha observado en bastantes puentes de *Gallaecia*, como el Ponte Freixo, puente de Lugo, Ponte Bibei y Ponte de San Miguel.



Hiladas alternas de sillares dispuestos a soga y tizón (Ponte Freixo-Ourense).



Relleno interior de tierra en el estribo izquierdo del Ponte Freixo.

- La estructura interior es menos conocida pues sólo se ha podido ver en los puentes que están arruinados o durante las escasas obras de intervención que han sido llevadas a cabo. Este es el caso de Ponte Freixo, cuyas obras de consolidación y de restauración parcial han permitido ver dos tipos de relleno en las pilas: el primero estaba formado por una sillería maciza que rellenaba las más estrechas; el segundo estaba constituido por piedras pequeñas y tierra que formaba el relleno de la pila más ancha (la central) y de los estribos.

Otro procedimiento consistía en la ejecución de unos rellenos de hormigón de piedra y cal, en capas de poco espesor (unos 50 cm) en las que primero se colocaba las piedras y luego se arrojaba sobre ellas el mortero de cal. En la *Gallaecia* sólo se ha visto este tipo de relleno en los restos de las pilas de A Pontóriga, sobre las que apoyaba la superestructura de arcos y plataforma. Estos núcleos de hormigón es lo único que se conserva.



Restos del relleno interior de hormigón de una de las pilas de A Pontóriga (Ourense).

- La altura de las pilas de los puentes romanos es muy variable en general y en *Hispania* en particular, pues el Ponte Freixo tiene una altura en la pila central, desde la cimentación hasta los arranques de los arcos, de 3,30 m y el puente de Alcántara de 27,00 m. Es una variable que está en función de la forma del valle y de la cota a la que accede el camino a la plataforma del puente.



Tajamar del Ponte Bibei (Ourense).

- El espesor de las pilas es uno de los parámetros más importantes del diseño de un puente ya que determinaba, con su mayor o menor anchura, la sección de desagüe del puente, tan importante en momentos de crecidas. Más adelante veremos que se ha tratado de analizar la relación entre el hueco total del puente y la longitud total entre estribos, y se ha visto que los puentes hispánicos oscilan entre un 61% (tramo III del puente de Mérida) y el 81% (del tramo conservado de Ponte de Pedra), con una media del 72%.

Debido a que en la mayoría de los casos las bóvedas se construyeron una a una, las pilas en

un momento de la ejecución han de soportar empujes desequilibrados de un solo arco, por lo que deben tener el ancho preciso para ser estables, ya que la resultante de los pesos y empuje del arco ha de pasar por el interior de la fábrica en toda su altura. Colin O'Connor da las relaciones espesor de pila/ luz de vano (d/L) más frecuentes, tomando los datos de 15 puentes, que oscilan entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{5}$ (O'Connor, 1993, p. 165). Como podemos observar en el cuadro de características de los puentes peninsulares que se adjunta al final de esta tesis, este valor es muy variable y poco significativo desde el punto de vista de caracterizar a las obras romanas, pues oscila entre $\frac{1}{5,60}$ (0,18) que tiene el Ponte de Lima - el más esbelto - y $\frac{1}{0,9}$ (1,11) que posee alguna pila del tramo III (el construido en la margen derecha) del puente de Mérida. La media de los puentes hispánicos es $\frac{1}{2,8}$.

Las pilas tienen plantas de forma rectangular, con anchuras (medida perpendicular al eje del puente) normalmente iguales a las de las bóvedas, y espesores (medida paralela a dicho eje) muy variables. Del lado de aguas arriba -raramente también del otro lado - poseen un tajamar que tiene usualmente dos formas: la más frecuente de sección triangular, que se ve en los puentes Freixo, Bibei y Segura, y de sección semicircular o redondeada, menos habitual, en los tajamares del puente de Mérida (tramos I y II) y del puente de Villa del Río (Córdoba). Esta diferencia formal de los tajamares fue empleada por Carlos Fernández Casado en el intento de sistematizar la datación de la construcción de los puentes romanos, que establecía como más antiguos, de época augústea, los que tenían forma redondeada.

La altura del tajamar es variable pero normalmente remata al nivel de los arranques, como en el Ponte Bibei y el de Alcántara. Otras veces supera ligeramente esa zona, por ejemplo en el puente de Segura, o llega hasta el nivel de la clave, como en el puente de Alconetar y en el Ponte de Pedra en Portugal, aunque, en este último caso, desconocemos cómo eran los primitivos tajamares ya que los actuales no son originales.



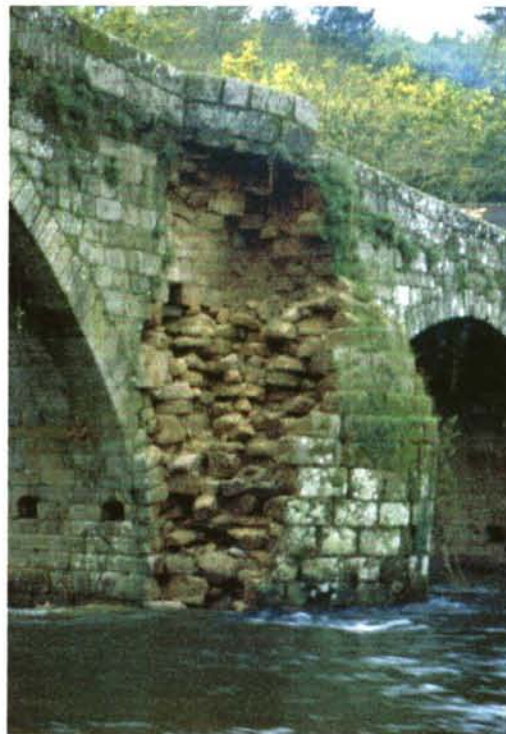
Alzado aguas arriba del puente de Albarregas (Mérida) con las pilas sin tajamares.

En algunos puentes desconocemos si, originalmente, se dotó a las pilas de tajamar, como al tramo romano del puente de Ponte de Lima o al puente de Albarregas, a pesar de que Laborde dibujó este último con tajamares semicirculares.



Sombbrero piramidal del siglo XIX de uno de los tajamares del Ponte Bibei (Ourense).

- En un gran número de puentes se desconoce como era el remate superior de los tajamares romanos, aunque parece que lo hacían sin sombrero, acabándolos en un plano horizontal, pues de esa forma parecen haberlo hecho los tajamares de Ponte Freixo, de Ponte Bibei y del puente de Caparra, a la vista de los restos conservados. Los sombreretes que rematan en la actualidad los tajamares de algunos puentes (por ejemplo el Bibei o del Segura) son adiciones modernas.
- Es frecuente ver anclajes en forma de cola de milano uniendo los sillares de los tajamares, realizados sin duda para incrementar la rigidez y la trabazón de este elemento sometido a la furia de las aguas y a los choques de los materiales, sobre todo grandes árboles, arrastrados por las crecidas (como ejemplo de este peligro, la reciente rotura de unos de los tajamares del puente de origen medieval de San Clodio, la tarde del 5 de enero de 2001, se debió al choque de una gran acacia arrastrada por el río Avia).



Ruina reciente (5/1/2001) del tajamar del puente de San Clodio (Ourense).

Eran grapas metálicas o de madera (fresno o roble), emplomadas para su fijación a la piedra. Estas últimas las encontró Alejandro Millán en el puente de Alcántara (Blanco Freijeiro, 1973, p. 68) que resalta la curiosidad de que las grapas tengan el núcleo interior de madera, que

también vio el arquitecto Però que precisa que eran de encina, tomadas con plomo derretido. También en el Ponte Freixo se vieron restos de cenizas en las grapas de los tajamares durante las obras de restauración llevadas a cabo en 1989.

Huecos labrados para encaje de las grapas en el tajamar de una de las pilas del Ponte Freixo (Ourense).



Las grapas metálicas de bronce o hierro, así como el plomo de ajustado fueron objeto de saqueo en época medieval dando lugar a los característicos agujeros existentes en muchos monumentos, por ejemplo el arco de Caparra, y en puentes romanos como el Navea y el Ponte de Pedra.



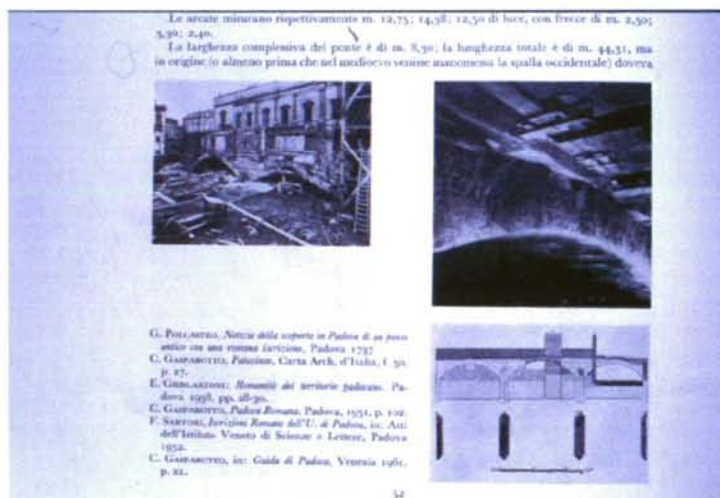
Agujeros realizados para saquear las grapas emplomadas (arco de Caparra en Cáceres).



Agujeros para saqueo de las grapas de muro de encauzamiento del Ponte Navea (Ourense).

4.4.5.3.- Las bóvedas o arcos.

Los ingenieros romanos emplearon preferentemente el arco de medio punto o semicircular, aunque, en ocasiones, también utilizaron arcos de directriz segmental o rebajados. Al contrario de lo que se piensa, los construyeron tempranamente, en plena época tardorrepblicana, como se ha comprobado en el puente de San Lorenzo en Padova (Italia) por una inscripción conservada en una boquilla lo que ha permitido datarlo perfectamente entre los años 47 y 30 a.C (Galliazzo, 1995, II, pp. 208-212).



Arcos rebajados del puente de San Lorenzo en Padua (Italia) (P.Gazzola).

Los tres arcos son muy rebajados con un ángulo de apertura de $\theta = 113^\circ$ (para poder comparar en los arcos de medio punto ese ángulo es de 180°), y sus luces son 12,75 m, 14,38 m y 12,50 m; las pilas son muy estrechas, 1,95 y 1,72 m, de modo que la relación ancho pila/luz de arco alcanza valores muy pequeños, entre 1/8 y 1/9, si los comparamos con los que presentan la gran mayoría de los puentes romanos, entre 1/1 y 1/5. Fue un gran avance constructivo, que por su carestía y mayor dificultad fue empleado de forma limitada, aunque quizás más de lo que pensamos.

Otros puentes con arcos rebajados son el de San Martín en el Valle de Aosta, con un ángulo $\theta = 144^\circ$ y la mayor luz alcanzada por un arco de piedra de época romana, que alcanza 36,65 m (Gazzola, 1963, II, p. 97), 35,60 m (O'Connor, 1993, p. 90) o 35,64 m (Galliazzo, 1995, II, p. 200).



Alzado aguas abajo del arco del puente de San Martín (Aosta-Italia).

En España tenemos arcos rebajados en el Ponte Pedriña (Bande-Ourense), de acuerdo con los datos de Gazzola y Segundo Alvarado, con un ángulo $\theta = 144^\circ$ (según nuestros cálculos $\theta = 151^\circ$). Los arcos originales conservados del puente de Alconetar, antiguamente sobre el Tajo y hoy trasladado por la construcción de un embalse, tienen un ángulo de apertura de $\theta = 120^\circ$.



Arco rebajado del puente de Alconetar (Cáceres).

Una bóveda de directriz singular es la que conserva el puente de la ciudad francesa de Vaison-la-Romaine (Mesqui, 1986, p. 185). Su forma rebajada es policéntrica, más o menos elíptica, que ejemplariza sobre la capacidad técnica de los romanos a la hora de construir bóvedas. El puente de Augusto o de Tiberio en Rimini, es un caso singular pues todos sus arcos tienen directrices distintas, combinando arcos de medio punto de luces entre 8,30 y 8,90 m y el arco central de mayor luz que los anteriores, 10,70 m, de directriz rebajada de tres centros con radio menor en los arranques hasta la mitad de la flecha aproximadamente y de

radio mayor en el resto, de obligada construcción al coincidir la altura de los arranques y el nivel de las claves. La directriz de este arco que Perronet (siglo XVIII) llamó "anse de panier", era conocida ya en la Antigüedad pues Heron de Alejandría (282-221 a.C.) en sus tratados de matemáticas indicó el medio de trazarla⁹⁰. La bóveda más cercana a la orilla izquierda tiene una directriz ligeramente apuntada, caso muy raro en las bóvedas romanas, y que el profesor Galliazzo ve en ella un precedente de las bóvedas ojivales medievales.



Diferentes directrices de los arcos del puente de Augusto en Rimini.

Los romanos no llegaron a realizar perfiles tan bajos como los ingenieros del XVIII, pero es evidente que dispusieron de los conocimientos precisos para su construcción como demuestran los ejemplos mencionados.

En cuanto a la luz de los arcos, según el diagrama de distribución de frecuencias acumuladas de luces máximas realizado por Colin O'Connor tomando una muestra de 146 puentes romanos el 90 % de los puentes romanos estudiados no superan los 21 m de luz y el 70% tiene luces menores a 12,50 m. De esto deducimos que salvo casos muy concretos el ingeniero romano no prodigó en los puentes luces superiores a los 20 m que, por supuesto, es una luz más que respetable para aquellas épocas e incluso posteriores (O'Connor, 1993, p. 170). Nosotros también hemos realizado un estudio estadístico sobre una muestra de 117 puentes (se adjunta más adelante) y se ha obtenido un resultado ligeramente diferente pues observamos que el 80% de los puentes estudiados tenían una luz igual o menor a los 10 m, valor que alcanzaba la luz media de la muestra. La mayor luz de los puentes romanos peninsulares la tiene el Puente de Alcántara, con un vano de 28,80 m aunque el antiguo romano de Ourense pudo haber alcanzado en algún momento de su historia - quizá en el bajo imperio - los 33-34 m (esta cuestión la veremos más adelante).

La relación que hay entre el espesor de la bóveda y la luz del vano es uno de los parámetros más importantes en el diseño de un arco, ya que posiblemente el primer valor fue determinado en función del segundo, de modo análogo a algunas fórmulas aritméticas que

⁹⁰ Degrand, E.: "Ponts en maçonnerie". Paris, 1888. P. 365.

fueron empleadas en el siglo XVIII y XIX, como la de Lavour, Perronet, Depuit y Croizette-Desnoyers (Sejourné, 1913-16, p.312). El ingeniero inglés C.O'Connor ha estudiado esta relación en dieciocho puentes con una relativa precisión, ya que reconoce haber obtenido las dimensiones de fotografías, y ha concluido que se están en la mayoría de los casos, entre 1/10 y 1/20 (O'Connor, 1993, p. 168 y 169). Nosotros la hemos estudiado en los puentes de *Hispania*, con valores tomados en la obra, y podemos decir que la relación oscila ente 1/4,6 y 1/20,7 con una media de 1/16,7 y una desviación muestral de 3,90. El valor de máxima estrechez, 1/20,7 se halla en el arco central de Ponte Bibei. El valor contrario, es decir, el máximo espesor de la rosca con relación a la luz se ha observado en el tramo III del puente de Mérida. En las conclusiones finales haremos una reflexión sobre esta relación.

Las ventajas de emplear una bóveda rebajada en lugar de una de medio punto, como vamos a ver, ahorran mucho volumen de sillería, pero los esfuerzos horizontales son mucho mayores, que seguramente no consiguieron en muchos casos darle a la estructura de los estribos o pilas la masa suficiente para soportarlo. Veamos el volumen de sillería necesario en uno u otro caso: estudiado por el ingeniero ingles J. Heyman el espesor estricto o mínimo de un arco de medio punto y rebajado (Heyman, 1995, p. 98), sometido exclusivamente a su peso propio:

- Para un arco semicircular $2\theta = 180^\circ$, la relación espesor/luz es para Heyman:

$$e/L = (\beta - \sin\beta)(1 - \cos\beta) / \beta (1 + \cos\beta) \text{ siendo } \beta = 59,5^\circ$$

$$\text{para } \theta = 90^\circ \Rightarrow e/L = 0,056, \text{ aproximadamente } 1/18.$$

- Para un arco rebajado, por ejemplo $2\theta = 144^\circ$, la relación e/L es:

$$e/L = (\beta - \sin\beta)(1 - \cos\beta) / \beta (1 + \cos\beta) \text{ siendo } \beta = 59,5^\circ$$

$$\beta = \theta/(2)^{1/2}$$

$$\beta = 50,9^\circ \Rightarrow e/L = 0,0286 \text{ que es aproximadamente } 1/35$$

Si consideramos un coeficiente de seguridad de 3, y hacemos un somero ejercicio numérico del volumen de piedra necesario para un arco de 20 m de luz, sometido a su peso propio exclusivamente obtenemos:

- Arco de medio punto

$$V = 20/18 \times 3,1416 \times 10 = 35 \text{ m}^3/\text{m de anchura}$$

- Arco rebajado ($2\theta = 144^\circ$)

$$V = 20/35 \times 3,1416 \times 10 = 18 \text{ m}^3/\text{m de anchura}$$

La diferencia obtenida como podemos observar es muy notoria, con un ahorro de la mitad para el caso de que construyesen el arco rebajado. Ahora bien la escasa presencia de este tipo de arco, a pesar de este ahorro evidente, parece demostrar que no fue tenido en cuenta por los ingenieros romanos, quizá por desconocerlo, como puede verse en los espesores del puente

de Alconetar (1/6 de la luz), muy gruesos, o el puente de Piedra de Aosta ($L=15,15$ m y $1,02$ m de espesor, por tanto $e/L = 14,85$), relativamente estrechos. Creemos que esta tipología no se desarrolló más por los fracasos que tuvieron por los grandes empujes horizontales que produce.

Entre las singularidades constructivas de las bóvedas señalamos las siguientes:

- Las boquillas de los puentes romanos, en su amplia mayoría, están formadas, más o menos, por dovelas del mismo tamaño (espesor uniforme) cuando coinciden las curvas del intradós y del trasdós. Cuando no es así, las dovelas tienen diferente altura y su trasdós está encajado con las hiladas horizontales de la sillería de los paramentos verticales, como se ve en la Alcantarilla de Mérida.



Dovelas no uniformes de la boquilla aguas arriba de la alcantarilla de Mérida.

Se ha observado algún caso de irregularidad del espesor de la rosca que era debido al diferente tamaño en algunas dovelas, localizadas entre la zona de riñones (a 60° de la clave) y los arranques, por ejemplo en el puente de Caparra, y en la parte superior de la clave, observable en el puente de Alcantarillas (Sevilla).

El mayor espesor de la boquilla en la zona inferior del arco, ya sabemos que es favorable para la estabilidad del arco cuando la estructura puede arruinarse por el levantamiento de la clave (formación de una rótula en el intradós de la clave) debido al empuje de pilas o estribos, ya que permite el paso de la curva de presiones por el interior de la fábrica y retrasa la formación de rótulas en el trasdós de riñones. Cuando la parte superior del arco tiene mayor espesor se mejora la estabilidad en el caso de colapso por vuelco de riñones y por el hundimiento de la clave, al no resistir las estructuras donde estriban los empujes del arco.



Mayor tamaño de las dovelas en los riñones del puente de Caparra (Cáceres).

- Es relativamente frecuente, sobre todo en puentes itálicos, que parte de las dovelas de las boquillas estén formadas por dos piezas, generalmente en posición alterna con otras enteras (por ejemplo en el Ponte de Cecco en la localidad italiana de Ascoli Piceno).



Dovelaje de una y dos piezas alternado en las boquillas del puente de Cecco en Ascoli-Piceno (Italia).

Se debe a que la rosca la hacían con piezas a soga (que da una sola cara al exterior) y a tizón (que da dos, si se conserva el espesor de la boquilla). Esta forma de aparejar las dovelas mejoraba la trabazón de las boquillas.

- En puentes de cierta envergadura, como el puente de Alcántara, las boquillas - y no se sabe si también toda la bóveda - se construían con doble rosca, la interior con piezas de mayor tamaño que la exterior, y dispuestas ambas radialmente. Esta disposición suponía una mejora de la estabilidad, pero también lo podría haber hecho por consideraciones de tipo estético, si la consideramos como una especie de arquivolta del arco, pues es muy grande, en el caso mencionado, la diferencia de espesores entre una y otra rosca.



Doble rosca en los arcos del puente de Alcántara (Cáceres).

- El espesor de la bóveda en la parte interior es desconocido en muchos casos por la falta de datos o informaciones. En las obras de restauración del Ponte Freixo hemos podido apreciar que el espesor de las bóvedas se conserva con regularidad en toda la anchura, a pesar de que el trasdós de las piezas es muy irregular y descuidado.



Uniformidad del tamaño de las dovelas en toda la bóveda (Ponte Freixo).

También se pudo apreciar el espesor constante de las bóvedas en el Ponte de Lima durante las obras de consolidación del tramo romano en 1959, en la alcantarilla de Sao Lourenço debido a un reciente desplome de parte de la rosca y en el Ponte do Arquinho, donde la desnudez de su trasdós lo permite ver.

Esta uniformidad no se conservó en algunas bóvedas medievales que fueron construidas en sustitución de las originales romanas, como sucedió en el Ponte Navea, y que ha sido

HP Deskjet



estudiada con motivo de la realización del proyecto de restauración parcial recientemente elaborado⁹¹. Se han medido los espesores de las boquillas de 90 cm, y los espesores interiores de la bóveda, en unas calicatas cercanas a la clave, que resultaron ser bastante irregulares y menores que el de los aristones, pues oscilaban entre 45 y 50 cm

- En ocasiones dispusieron refuerzos interiores en las bóvedas para mejorar su estabilidad. Dos tipos de refuerzo se han puesto de manifiesto en obras de *Gallaecia*: el primero consiste en el arrimo de una hilada de sillares escasamente labrados en la zona baja de la bóveda a modo de segunda rosca, observado durante las obras de restauración del Ponte Freixo.

Refuerzo con una doble rosca en el interior de la bóveda en Ponte Freixo.



Posible refuerzo en el trasdós de la bóveda del Ponte do Arquinho.



Un refuerzo similar de acumulación de sillería en la zona baja de la bóveda parece deducirse al observar la parte superior del Ponte do Arquinho (Portugal).

Un segundo tipo de refuerzo consistió en la construcción de unos muros interiores, entre dos bóvedas, paralelos a los tímpanos y de una altura que no rebasaba el nivel de los riñones.

⁹¹ Alvarado, S.; Durán, M; Huerta, S.: "Proyecto de consolidación parcial del muro derecho del Ponte Navea (Ourense). Consellería de Cultura-Xunta de Galicia. 2000.

Esta disposición la hicieron en el tramo romano de Ponte de Lima y se descubrió durante las obras de restauración de 1959 (la detallamos más adelante, al tratar de este puente). Una disposición similar la tuvo el Ponte Cestio en Roma con un muro interior “de transmisión” (Galliazzo, 1995, I, p. XXX y 455).

- La clave es la pieza central del arco que lo cierra y culmina y, normalmente, tiene una altura similar a la del resto de las dovelas, aunque su longitud (la dimensión según la directriz del arco) y espesor es más variable. En algún caso las dovelas contiguas tienen el trasdós prolongado y enrase horizontal con la imposta, resultando un tramo del trasdós horizontal. Esta singularidad también puede verse en algunos puentes hispánicos como el de Chaves, el de Alcantarillas el puente de Villa del Río o en los desagüaderos del de Vila Formosa, y en otros puentes de Italia como el puente Calamone.



Trasdós horizontal de la clave y las dovelas contiguas (Ponte Calamone-Italia)

- En ocasiones la clave se destaca del resto de las dovelas de las boquillas, o bien por su tamaño, como sucede en el puente de Piedra de Aosta, con una longitud triple del resto de las dovelas, rodeada por ambos lados por sendas dovelas de material distinto, de color claro, seguida de otras oscuras y a continuación otras claras, dando un toque estético y colorista no muy frecuente.



Clave de gran tamaño y diversidad cromática de las dovelas del Ponte di Pietra (Aosta).

En algún caso, además del distinto tamaño, se utilizó en la clave un material de mayor dureza, y de distinto color que el resto de dovelas, por ejemplo en el puente Nona, cerca de Roma en la *Via Praenestina*, donde la clave se destaca por su color blanco (travertino) del resto de la fábrica del puente (toba) y por su mayor altura.



Clave de gran tamaño y de calidad diferente al resto de las dovelas en el puente viaducto de Nona.

También puede destacarse la clave por estar saliente con respecto al paramento, como ocurre en el arco central del Ponte Cestio de Roma, puente que une la Isla Tiberina con la margen derecha del Tíber, o por tener algún elemento decorativo que resalte su papel en el arco. Salvo en el Ponte Bibei, no hemos observado en los puentes de *Hispania* ningún detalle de este tipo, y en este caso tampoco es de relevancia. Se trata de un recuadro labrado en el tercio superior de la clave del arco central, rehundido, que pudo haber alojado alguna placa o inscripción. En algunos puentes italianos sí se conserva alguna singularidad de este tipo, por ejemplo en el puente Nomentano en la vía del mismo nombre, cerca de Roma, donde se

puede ver la cabeza de un toro labrada en la clave del arco principal (Galliazzo, 1995, tomo II, p. 38), en el puente de Piedra de Verona en el que se aprecia una figura humana en una clave que representa al dios del río Adige sobre el que se construyó (Gazzola, 1963, tomo II, p.135; Galliazzo, 1995, tomo I, p. 445), y en el puente de Augusto en Rimini, en el que se puede ver una *corona cívica* de hojas de roble y un vaso de sacrificios.



Vaso de sacrificios labrado en la clave de uno de los arcos del puente de Augusto en Rimini.

- En los puentes conservados de *Hispania* no hay ningún tipo de arquivoltas que remarque el trasdós de los arcos con una cornisa, como existe en algún puente de Italia, sobre todo en aquellos cuya construcción se atribuye a Augusto. Puede verse en el puente llamado de Augusto, en Ascoli Piceno, y en el Narni, también llamado de Augusto.



Arco con arquivoltas del puente de Augusto de Ascoli-Piceno.



Arco con arquivoltas del puente de Augusto de Narni.

Si la segunda rosca estrecha de las bóvedas del puente de Alcántara la consideramos como una arquivolta (Galliazzo, 1995, tomo I, p. 426), este sería el único puente hispánico con este tipo de adorno.

- Es poco frecuente que la bóveda esté formada por anillos adosados de dovelas sin juntas encontradas, como la de la puerta o arco de Trajano en Mérida, el arco de triunfo conservado en el puente del Diablo en Martorell, o las arcadas del puente-acueducto de Pont du Gard son un ejemplo de esta disposición constructiva.



Bóveda de anillos del arco de triunfo del Puente del Diablo de Martorell (Barcelona)

Es notorio que esta forma de ejecutar las bóvedas no facilitaba la trabazón de todo el conjunto, condición que siempre preocupaba a los romanos sobre todo en los puentes sometidos a fuertes embestidas de las aguas. De hecho esta disposición ha sido poco observada en puentes, sólo en el sur de Francia, en el puente de Boisseron, cerca de Montpellier, con bóvedas de dos anillos, y el de Sommières (Gard) con bóvedas de cuatro anillos (Galliazzo, 1995, p. 391). Se pudo haber recurrido a esta singular disposición para simplificar las cimbras o el sistema constructivo.

- Hay un tipo de bóvedas singulares formadas por arcos separados e independientes, a modo de nervios que sobresalen, en algún caso, en el intradós. El espacio entre estos anillos se cubría con enlosados como se hizo en la bóveda de la casa de baños o templo llamado de Diana en Nîmes (Choisy, 1999, p. 115). Quizá esta solución no se empleó en puentes por su falta de rigidez pues no se conserva ninguno. Lo más parecido a esta disposición pero con un comportamiento estructural diferente, fue la bóveda nervada de uno de los arcos del viaducto de Narni. Se trata de una bóveda cilíndrica en la que se han dispuesto cuatro nervios, perfectamente trabados a ella, que aumentan la rigidez.



*Bóveda nervada
del puente de
Augusto en Narni.*

El espacio entre nervios se cubrió en algún caso con hormigón de cal y piedra, como puede verse en varios puentes del valle de Aosta, como el de San Martín, que, como ya hemos dicho, es el puente de mayor luz de los conservados (35,64 metros). Se trata de cinco anillos de piedra de directriz ligeramente rebajada, de 0,98 m de ancho entre los que se han rellenado

cuatro franjas de 0,30 m de anchura con *opus caementicium*, que dan un ancho en total de 6,10 m

*Bóveda nervada
con rellenos de
hormigón del
puente de
S.Martin (Aosta).*



- Lo más habitual es que las dovelas de las bóvedas estén aparejadas a juntas encontradas, trabándose entre sí y dando unidad al conjunto para dificultar la aparición de grietas longitudinales en las bóvedas. Sus juntas suelen ser planas y las transversales más o menos radiales. Para que el contacto sea el mejor posible, la labra de sus caras era de gran calidad y con un acabado poco rugoso como hemos podido apreciar al desmontar parte de las bóvedas de Ponte Freixo.



Labra fina en las caras de juntas de las dovelas del Ponte Freixo.

- Una característica muy rara, por escasa, es la presencia de un engatillado en las dovelas de las boquillas. Se ha observado, sobre todo, en dinteles adovelados, como en

el teatro de Orange o en el palacio de Diocleciano de Split o Spalato, o en arcos como en la Tumba de Teodorico en Ravena. En puentes, y siempre que ellos se hubieran construido en época romana, solo se ha observado en los cordobeses de Villa del Río y Los Pedroches.



Detalle del engatillado de las dovelas del puente de Villa de Río (Córdoba).



Aristón de travertino y bóveda de toba en el puente Fabricio de Roma.

- En cuanto a los materiales de ejecución de las bóvedas podemos decir que los puentes hispánicos, salvo la Alcantarilla de Mérida, están realizados con el mismo tipo de piedra que el resto de la fábrica. Es una característica prácticamente general aunque no faltan ejemplos, aparte del citado, en donde los materiales empleados en las boquillas son

distintos y normalmente de mejor calidad (piedra dura) a los empleados en el interior de la bóveda (piedra más blanda, ladrillo u hormigón).

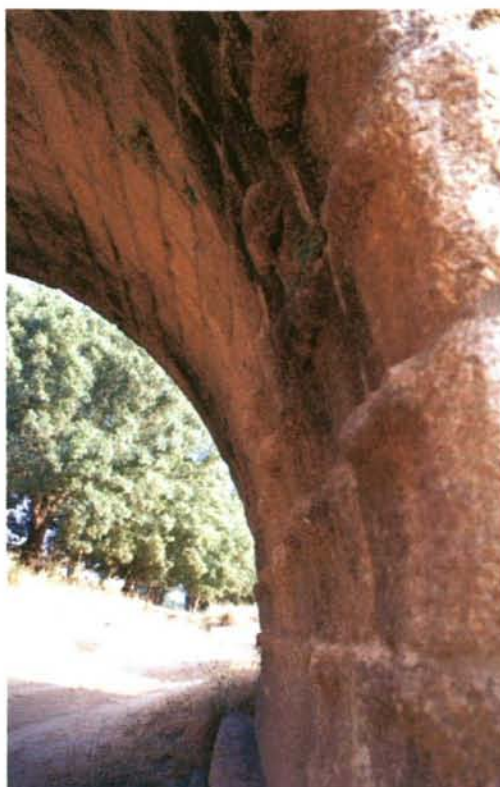
En el caso de la Alcantarilla de Mérida las boquillas son de piedra mientras que la bóveda interior está realizada con ladrillo, salvo la clave que está ejecutada con hormigón de cal. En Roma, el Ponte Fabricius también presenta esta singularidad; en este caso en las boquillas y en las bóvedas se empleó únicamente piedra, travertino en las boquillas que era más dura que otra caliza empleada en la parte interior de la bóveda.

- La colocación o aparejo de las dovelas en las bóvedas es variable, ya sea mayoritariamente a soga, a tizón, a soga y tizón, o sin una clara distinción ya que las dimensiones de las dovelas son uniformes. La mayoría de los puentes hispánicos tienen una mezcla de piezas a soga y tizón, abundando más los tizones que las piezas a soga, por ejemplo en el Ponte Freixo, San Miguel, Alcántara, Vila Formosa, etc. Solo el puente de Caparra y el de Villa del Rio el Ponte de Pedra tiene una disposición clara de las dovelas a soga, sobre todo en los dos últimos en los que se aprecia en el intradós de algunas bóvedas la estrechez de las mismas.



Disposición a soga de las dovelas de las bóvedas del puente de Pedra (Portugal).

- En cuanto a la labra y acabado de las dovelas, la cara del intradós es muy frecuente que la presenten lisa, sin almohadillado, pues de otra forma el apoyo sobre el entablado superior de la cimbra estaría dificultado por los salientes. Sólo en el galaico Ponte de Pedra se aprecia un ligero resalte. Otro tipo de singularidad que hemos observado en algunos puentes de *Hispania*, es un resalte en un borde de la dovela, generalmente el superior, en forma de bocel, que según J.Pierre Adam (Adam, 1984, p. 41) estaba destinada a proteger las aristas de las dovelas durante el transporte. Esta característica está presente en la bóveda izquierda del puente de Vila Formosa y en varias del tramo III del puente de Mérida.



Resalte a modo de bocel en dovelas del puente Velho de Vila Formosa (Portugal).

4.4.5.4.- Los tímpanos

El espacio entre dos arcos sucesivos es el tímpano, compuesto por dos paramentos de sillería dispuesta horizontalmente, generalmente almohadillada, encajada con el trasdós del arco, según planos inclinados que se ajustan a su redondez. En otras ocasiones como en el puente de Mérida o en la Alcantarilla de esa ciudad, esa junta se hace con entalladuras planas, escalonadas o dentadas, que crean un aparejo poligonal.



Detalle del aparejo de la sillería de un tímpano del tramo III del puente de Mérida.

La forma geométrica exterior de estos muros de cabeza es más o menos triangular o trapezoidal según sea la anchura de la pila sobre la que se apoyan los arcos. Así por ejemplo en el puente de Chaves con pilas muy estrechas, las boquillas de los arcos son tangentes a la

altura de los salmeres, por lo que la forma es triangular. De este puente destacamos la existencia de un singular arco de descarga en un tímpano, con una clave muy clara.



Pequeño arco de descarga en un tímpano del puente de Chaves.

En otros puentes de la *Gallaecia* como Ponte Bibei, al ser las pilas más anchas la forma del tímpano es trapecial.

El relleno interior de los tímpanos en los casos que conocemos de puentes de *Gallaecia* (Ponte Freixo y Ponte de Lima), era una mezcla de tierra y piedras, colocadas sin orden aparente, que no sabemos si era el original o resultado de alguna reparación, ya que en el Ponte Freixo encontramos allí alojados un pequeño resto de la cornisa y un trozo de una columna honorífica que debió estar erigida originalmente en el puente. De los puentes hispánicos sabemos que el puente de Mérida (Álvarez Martínez, 1983, p. 60) tiene un relleno interior de "hormigón de cal y grandes cascotes". El de Alcántara también pudiera ser de este tipo (Rodríguez Pulgar, 1992, p. 37) o de sillería maciza como apunta, creo que erróneamente, Liz Guiral (Liz Guiral, 1988, p. 65), ya que basa su argumento en la sillería interior de las pilas, pero una cosa son las pilas y otra muy distinta los tímpanos, como hemos podido apreciar en el Ponte Freixo, donde la pila maciza terminaba al llegar a los arranques del arco. Galliazzo menciona este tipo de relleno, *opus caementicium*, como el más frecuente, y cita como ejemplo, entre otros, el puente de Augusto de Narni, en el que puede observarse toda la estructura interior del relleno al perder los paramentos exteriores (Galliazzo, 1995, tomo I, p. 451).

El relleno mixto de piedras y tierra tiene el inconveniente de generar empujes horizontales por su propio peso y por transmisión de las cargas de la plataforma, que se pueden incrementar si se satura de agua infiltrada a través de la calzada. Estos empujes, peligrosos para la estabilidad de los muros de tímpanos, fueron la causa, por ejemplo, de la ruina del tímpano de Ponte Freixo reparado en 1989. La construcción maciza de los tímpanos tiene una desventaja: aumenta la carga muerta o peso propio sobre la pila, que en cierto casos podía ser desfavorable (tensiones limitadas en el plano de la cimentación) aunque en otros no (empujes desequilibrados de los arcos).

En las avenidas los tímpanos oponen a las aguas un frente muy amplio que provoca una retención y elevación de la lámina de agua, generando mucha energía que puede hacer peligrar la estabilidad. Ante esto los constructores romanos idearon construir en ellos unos huecos adintelados o abovedados (la mayoría) que paliaba los efectos anteriormente mencionados, aligerando el peso propio y aumentando la sección de desagüe mermada entre un 25 a un 50 % por la construcción de las pilas en el cauce (el porcentaje entre la longitud libre entre vanos y la longitud total entre estribos oscila entre el 18 y 36 % aproximadamente, como puede verse en el cuadro resumen adjunto). Esta segunda arcada de menor orden atraviesa el cuerpo del tímpano de lado a lado. Hay autores que consideran que estos arquillos sólo se construyeron por una razón económica, sin tener en cuenta su aspecto hidráulico, que nosotros consideramos prioritario siendo de la misma opinión otros autores⁹².

Estas bóvedas de desagüe se construyeron por primera vez en dos puentes urbanos de Roma: el Ponte Milvio (109 a.C.), con una luz importante en torno a los 3,50 m y el Ponte Fabricio (62 a.C.), con una bóveda de luz amplia en torno a los 6,50 m. Los puentes posteriores tienen bóvedas más pequeñas y su altura esta comprendida entre dos y tres veces la luz.



Desaguadero en los tímpanos del puente Milvio en Roma.

Si nos ceñimos exclusivamente a los puentes de la antigua *Hispania* que poseen bóvedas de desagüe en sus pilas, podemos citar los siguientes: el Ponte de Vila Formosa en Alter do Chao (Portugal) con cinco desaguaderos abovedados y luces pequeñas en torno a los 1,12 m de luz y una altura que oscila entre 1,90 y 2,00, el puente de Alcantarillas de Sevilla que tuvo, al parecer, en el único tímpano, una abertura rectangular de desagüe que podría tener 1,00 m

⁹² Arenas de Pablo, J.J.: "El puente, pieza esencial del mundo humanizado". Universidad de Santander, 1982. P. 29.

de luz y 1,80 m de altura⁹³, el puente de Mérida conserva diecinueve desagüaderos abovedados de luz variable entre 1,80 y 1,10 m ubicados en los dos primeros tramos, desde la ciudad hasta el descendero de San Antonio (las pilas del tercer tramo, el más alejado del cauce, no tienen aliviaderos); Por último el puente de Villa del Río en Córdoba que tiene en sus pilas centrales unos originales desagüaderos de 1,12 m de luz y 1,90 m de altura, similares en tamaño a los del puente de Vila Formosa. La originalidad compartida con el puente Calamone en San Gemini (Italia) (Gazzola, 1963, tomo II, p. 89) consiste en que la bóveda del desagüadero se apoya en el trasdós de la bóveda principal contigua.



Desagüadero en un tímpano del puente Velho de Vila Formosa.



Arranque de uno de sus arcos menores en los riñones del desagüadero, compartiendo pilar, en el puente de Villa de Río.

93 Sillières, P.: "Les voies de communication de l'Hispanie Méridionale". Publications du Centre Pierre Paris. Paris, 1990. P. 667.



Pilar compartido entre arco y desaguadero en el puente Calamone (Italia).

El ingeniero romano trataba de limitar la altura del tímpano generalmente hasta el nivel de la parte superior de las claves, ya que con ello disminuía su superficie y el empuje del relleno confinado entre sus paramentos, que podía incrementarse con la filtración de agua si no estaba asegurada la impermeabilización de la calzada. Para contener este empuje, a veces, se reforzaban exteriormente con pilastras, como en el puente de Alcántara y en el de Salamanca. Las de este último puente, existentes sólo en el lado aguas arriba, son de planta rectangular, con 1,20 m de frente y 0,90 m de lado, ligeramente empotradas, formadas por doce hiladas de dos piezas colocadas alternativamente a

Esta característica, junto con otras, pasó a la construcción de puentes en la Edad Media, motivo por el cual se ha realizado, erróneamente, la inclusión de alguna obra de esta época en el legado romano. Esto ha sucedido con el puente aragonés de Luco del Jiloca, por ejemplo, mal incluido como puente romano en varias publicaciones, ya que se trata de un puente claramente construido con posterioridad, con marcas de cantero en el intradós de sus bóvedas además de otras típicas características medievales como son el pronunciado lomo de asno (17%) y la estrechez de la calzada (3,40 m) (Liz Guiral, 1985, p. 64), (Fernández Casado, 1980, s.p.) (Gallizazzo, 1995, II, p. 332).



Pilastra de refuerzo de los tímpanos aguas arriba del puente de Salamanca.

soga y tizón, moduladas a 1,20x0,45x0,45 m, que corresponden a 4 piesx1,5 piesx1,5 pies aproximadamente.

En el puente de Alcántara hay dos tipos de pilastras de refuerzo: las de las pilas extremas tienen sección rectangular (3,60 mx1,60 m aproximadamente), mientras que en el resto de las pilas tienen del lado aguas arriba unas de sección triangular (5,20 m de base y 4,00 m de altura) con la punta redondeada, planta similar pero reducida de la que tiene el tajamar, y del lado aguas abajo otras de sección rectangular (3,60 m x 2,70 m). Las pilastras de las pilas extremas tienen, también a ambos lados, unos nichos u hornacinas de 3,00 m de altura y 1,20 de anchura, cuya función o motivo de construcción es desconocido.

La coronación de estas pilastras alcanza, en ambos puentes, el nivel de la cornisa de la calzada.



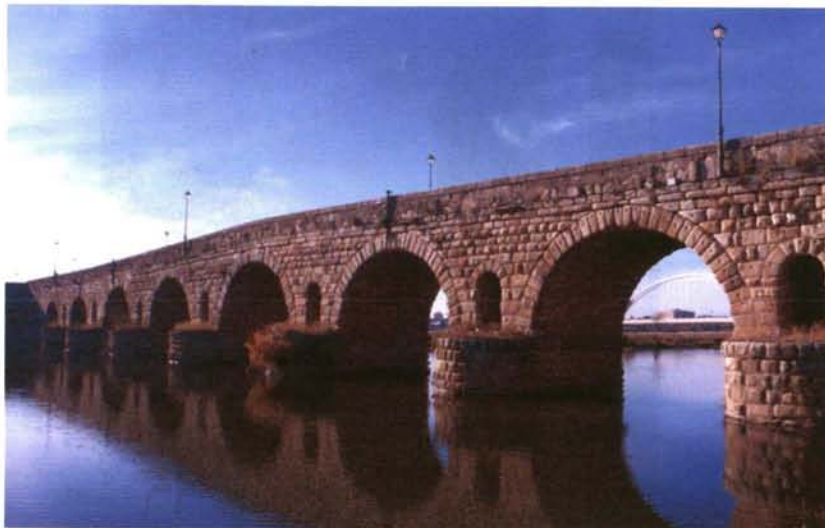
Pilastras de refuerzo de los tímpanos del puente de Alcántara (Cáceres).



Pilastras de refuerzo de sección rectangular en los tímpanos aguas abajo del puente de Alcántara.

4.4.5.5.- La plataforma.

La plataforma sobre la que se dispone la calzada suele tener de modo generalizado una rasante horizontal, aunque no faltan casos, más bien escasos, en los que recurrieron a la doble pendiente, muy pequeña, como en el puente de Alcántara, o apreciable, como la de los puentes de Villa del Río, el tramo I del puente de Mérida o el Pont Julien (Francia).



Antigua rasante en doble pendiente del tramo I del puente de Mérida.

En otras ocasiones la plataforma es sólo horizontal encima de la arquería, entre los ejes de las claves de los arcos extremos, y con una ligera pendiente en los accesos dispuestos en los estribos. El modelo más conocido es puente de Augusto de Rimini, tomado, siglos más tarde, por el arquitecto renacentista Palladio como modelo de belleza.



Rasante horizontal y rampas en los extremos (puente de Augusto en Rimini).

El hecho de que la totalidad o la parte central de la plataforma de un puente sea horizontal, sin ser definitiva y concluyente, nos ha parecido una de las características compositivas más interesantes para la identificación de un puente romano, y así lo hemos recogido en el estudio estadístico realizado que incluimos más adelante.

Las calzadas son amplias - no como las de los puentes medievales posteriores construidos con criterios menos ambiciosos - pues no desearon estrechar el camino a su paso por el

puente. Resulta por ello que la mayoría de los puentes romanos son puentes generosamente anchos, con bóvedas que superan los 6,00 m (aproximadamente 20 pies) de anchura. El ancho de los puentes romanos peninsulares oscila entre los 4,60 m del Ponte Freixo y la alcantarilla de Sao Lourenço, a los 7,80 m del Puente de Alcántara. Esta es una característica constructiva que hemos estudiado con detenimiento pues la consideramos importante para la sistematización de los puentes romanos. En el estudio estadístico final se hablará más sobre ella.

De la mayoría de los puentes romanos peninsulares desconocemos si tenían o no aceras, la forma y el tamaño de los pretilos y cómo estaba construida y pavimentada la calzada. Esta desaparición es razonable pues son elementos que no



Grabado de A. de Laborde (S.XIX) del puente de Alcántara.

ofrecen resistencia al arrastre por las avenidas que, en algún momento de su larga existencia, pudieron pasarles por encima. También la mano del hombre pudo ser la causa de su desaparición, ya sea para reutilizar en otras construcciones los sillares o piedras, o bien por actos vandálicos arrojando al río sus piezas, hecho relativamente corriente en la historia de un puente.

Apenas se conservan aceras, *margines*, y es difícil saber si las que se conservan son originales o reconstrucciones posteriores. Galliazzo cita una docena escasa de puentes con aceras (de los 931 incluidos en su obra), entre los cuales incluye el puente de Augusto en Rimini, con dos aceras de 60 cm de anchura y 30 cm de altura, y los puentes españoles de Alcántara y Albarregas. Del primero de los hispánicos citados sabemos con certeza que la calzada actual es fruto de la restauración llevada a cabo por el ingeniero Alejandro Millán, comenzada en 1856 y terminada en 1860 (Blanco Freijeiro, 1977, p. 70). Por una litografía de Alexandre de Laborde conocemos el estado de la calzada a principios del XIX; se aprecian dos aceras formadas por una única losa y los pretilles formados por dos hiladas de sillares que, comparada su altura con la de unas figuras humanas dibujadas a su lado, se deduce que eran altas, en torno a los 1,60 m (Liz Guiral, 1988, s.p.).

Del segundo, también gracias a los dibujos de Laborde (1805), antes de la última reconstrucción para acondicionarlo al tránsito de la carretera (1863-65), sabemos que tenía dos pequeñas aceras de 1,60 pies (Fernández Casado, 1980, s.p.).

Con respecto a los pretilles, *parapetti*, son muy pocos los puentes que conservan los pretilles originales, formados por sillería o por hormigón. De sillería son los del puente de Augusto de Rimini, formados por piezas verticales de 1,35 m de altura con baquetón, con una inscripción en la parte central – la misma a ambos lados - de mayor altura (1,55 m), en un recuadro enmarcado por bordes moldurados.

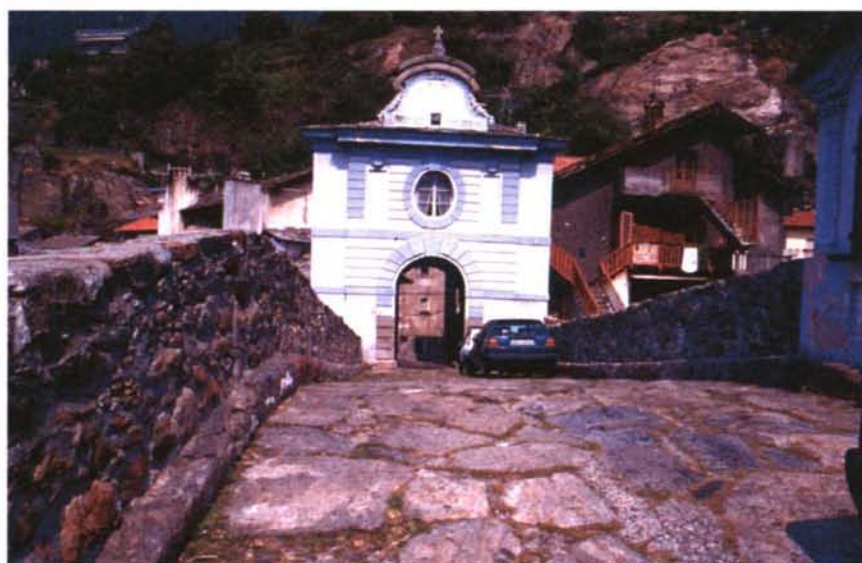


Pretilles de época romana del puente de Augusto en Rimini.



Inscripción enmarcada en el pretil del puente de Augusto en Rimini.

De sillería también eran, según un dibujo de Laborde (1805), los parapetos del puente de Albarregas, formados por dos hiladas de perpiaños de 1,60 pies (unos 48 cm) de anchura (Fernández Casado, 1980, s.p.). De hormigón con lascas de granitos son los pretils actuales del puente de San Martín de Aosta, aunque no sabemos si son los originales.



Pretils de mampostería en el puente de San Martín en Aosta (Italia).

Un tipo singular de pretil es el que, al parecer, tuvo el puente Fabricio de Roma (Galliazzo, 1995, tomo I, p. 493 y tomo II, p. 20 y ss.). Era un parapeto formado por planchas metálicas, de bronce o de hierro, probablemente caladas, sostenidas de trecho en trecho por una pequeñas pilastras cuadradas adornadas con un busto cuadrifonte del dios Hermes o Jano, dos de las cuales todavía se conservan encastradas en los pretils actuales, en los que se ven las ranuras laterales donde se alojaban las planchas.



Poste pétreo de la baranda metálica que, al parecer, tuvo el puente Fabricio (Roma).

De los puentes de *Hispania* sólo los actuales pretils de la Ponte Velha de Vila Formosa pueden ser los originales romanos; están contruidos con dos hiladas de sillares tumbados, la superior de 1,04 m, encajada en un ligero rebaje de la inferior que es más ancha de 1,15 m sin contar el vuelo de la cornisa. Se trata de un pretil muy ancho y relativamente bajo pues su máxima altura actual es de 0,96 m, aunque en algún punto no alcanza los 0,70 metros.



Pretil con moldura y de gran anchura del puente Velho de Vila Formosa.

En *Gallaecia* es posible que los restos que se conservan en el Ponte do Arquinho en el borde del lado aguas abajo del cuerpo de la bóveda, sean la primera hilada de los antiguos pretiles que tendrían un ancho de unos 70 cm.



Sillares del pretil que tuvo el Ponte do Arquinho (Poçacos-Portugal).

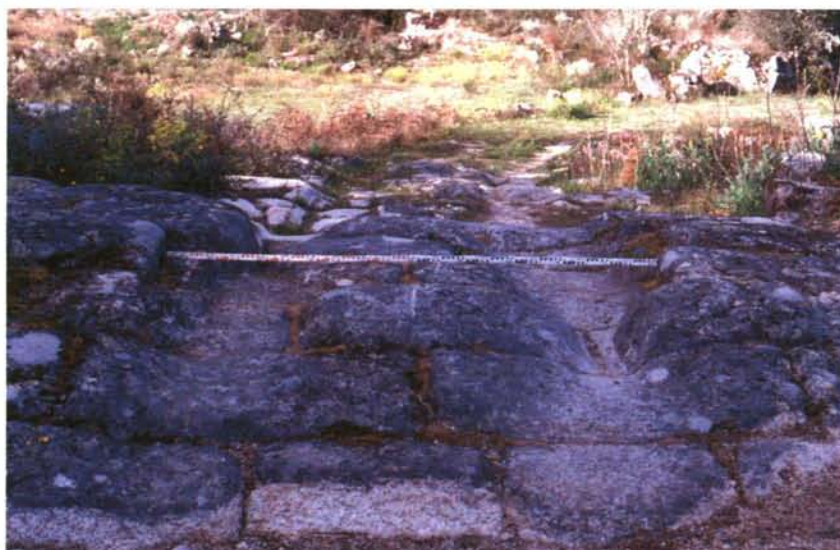


Sillar con cruces patadas grabadas del pretil del Ponte do Arquinho.

Los pavimentos de la calzada conservados también son escasos, pues al igual que los pretiles, las losas o losetas son elementos de fácil extracción o derribo (Galliazzo, 1995, tomo I, p. 475 y ss.). Debían tener, como norma general, un pavimento pétreo formado por losas colocadas en espina, como en el puente de Augusto en Rimini, o de losetas de tipo poligonal, como en el pavimento primitivo de Ponte Elio (Galliazzo, 1995, tomo I, p. 477) y el del puente de Albarregas como puede verse en un dibujo de Laborde (Fernández Casado, 1980, s.p.). El puente de Vila Formosa tiene un buen pavimento de losas que por sus dimensiones (1x1 pies) podía

suponerse original. Desgraciadamente no lo es ya que en una foto de principios del siglo XX se ve el pavimento que tenía el puente de guijarros o cantos de río asentados en tierra⁹⁴.

La desaparición en un determinado momento del pavimento de la calzada dejó al descubierto el trasdós de las bóvedas, que fue desgastándose por el uso y sobre todo por el paso de los carros cuyas ruedas labraron con el tiempo, profundas roderas, como se observa en las bóvedas del Ponte Freixo, del Ponte do Arquinho (Poçacos) o en las del Ponte de Lima⁹⁵.



Surcos o roderas de los carros en el trasdós de la bóveda del Ponte do Arquinho.

En otros casos se llegó a labrar el trasdós del arco con objeto de rebajar las fuertes pendientes que resultaban al perder la calzada y parte del relleno interior entre tímpanos. Esto sucedió en el francés Ponte Flavio de Saint-Chamas, en el que se llegó a rebajar unos 70 cm el espesor de la bóveda, de 1,02 m, reduciendo éste a 32 cm en la mitad central del arco. Es evidente por su estado de conservación que esta reducción parcial no ha provocado daños al puente, desde el punto de vista de la inestabilidad, quizá debido a la que la luz del arco es modesta, de 10,40 metros.

⁹⁴ Alves Pereira, F.: "A ponte romana de Vila Formosa (Alter do Chao)". Rev. O Archeologo Português, vol. XVII. Lisboa, octubre-diciembre de 1912.

⁹⁵ Sousa Machado, A. de: "A ponte romana de Ponte de Lima". Actas do I Coloquio Portuense de Arqueologia. Studium Generale IX. Oporto, 1962. P. 6.



Profundas roderas por desgaste en el trasdós del arco del puente de Saint Chamas (Francia).

4.4.6.- Los sistemas constructivos.

Expuestos los problemas preliminares que existen y que hay que resolver cuando se pretende la construcción de un puente, una vez fijada la ubicación, determinados la rasante de la plataforma, la capacidad de desagüe, la tipología y los materiales a emplear, solo resta definir el sistema constructivo, que vendría condicionado por los materiales, la sencillez de los procedimientos, la economía de los medios y el sentido siempre práctico de los diseños realizados, buscando siempre las tres condiciones que, según Vitrubio, debían reunir todos los edificios: la firmeza, la utilidad y la belleza.

Hemos visto que el material utilizado de manera más usual fue la piedra, y la tipología más habitual fue el puente de arcos de medio punto. Desde este punto de partida, los ingenieros romanos, con los medios auxiliares habituales, acudían a los procedimientos que consideraban más adecuados.

Los sistemas de nivelación y replanteo empleados serían los mismos que utilizaron en los trabajos agronómicos - por ejemplo la parcelación o centuriación de los terrenos de uso agrícola - y topográficos - como las espléndidas nivelaciones realizadas en los acueductos de abastecimiento de agua a las ciudades o en la minería para la ejecución de masivos movimientos de tierra por los sistemas, denominados por Plinio el Viejo, la *ruina montium*, que realizaron con gran maestría⁹⁶. Realizaron la nivelación de los arranques de las bóvedas, la horizontalidad de la plataforma y dieron una determinada pendiente a las rampas de acceso con los aparatos topográficos habituales en aquellos tiempos: la *groma*, el *chorobates* y la *dioptra*. La precisión de la nivelación que realizaron en el puente Velho de Vila Formosa, nos asombró cuando, tomados puntos de los arcos con aparatos láser de topografía, realizamos el cálculo de los centros hipotéticos de sus seis bóvedas, y obtuvimos que prácticamente todos

⁹⁶ Saenz Ridruejo, C.; Velez González, J.: "La minería primitiva del oro en el noroeste de España". Ediciones Atlas. Madrid, 1974. P. 55 y ss.

estaban a la misma cota. Esta cuestión la veremos con más detalle al hablar de este puente más adelante.

La puesta en obra de la sillería se realizaría con medios manuales, con pequeñas carretillas sobre andamios o con sencillos artefactos elevadores como eran los trípodes de madera y cuerdas, tornos a mano y polea (Adam, 1984, p. 46), muy utilizados en la construcción durante muchos siglos, que les permitía el izado y traslado de los sillares hasta el lugar de colocación. Para levantar los sillares se emplearon unas pinzas, los *ferrei forfices*, cuyas puntas se ajustaban en unos pequeños orificios, de forma redondeada o alargada, que facilitaban la sujeción. En algunos puentes de *Gallaecia* (por ejemplo en el puente de San Miguel, Freixo, Bibei, Lugo o Sao Lourenço), no hemos observado estos orificios ni tampoco salientes que permitiese su izado con cuerdas, aunque pueden tenerlos por las caras ocultas de los sillares.



Agujeros para facilitar el izado con una tenaza (ferrei forfices) en las dovelas de un arco del puente de Chaves.

Para facilitar el manejo de los sillares, una vez izados y depositados próximos a su posición definitiva, y desplazarlos sobre la hilada inferior y ajustarlos a los contiguos se utilizaban palancas de hierro (Adam, 1984, p. 55 y ss.) cuya punta se introducía en el interior de unos pequeños agujeros en los bordes de los sillares que facilitaban la acción de la palanca. Estos agujeros se ven en muchos puentes como el Bibei, el Freixo y el Ponte do Arquinho, por citar solo ejemplares de *Gallaecia*.



Pequeños agujeros de ajuste con una palanca en sillares en Ponte Freixo.

El aparejo de la sillería fue muy habitual que se dispusiese con hiladas alternas de sogas y tizones, tan frecuente que podemos considerarla como una característica fundamental en el intento de sistematización de los puentes construidos en época romana. Era una disposición que mejoraba la trabazón de la fábrica dándole unidad a todo el conjunto.



Hiladas alternas de sillares a sogas y tizón en uno de los muros del Ponte de San Miguel (Gêres-Portugal).

Otro sistema para obtener ese fin consistía, como ya hemos dicho, en el empleo de grapas metálicas de formas variadas (en U, S o doble T) o de madera dura como el fresno o el roble, ajustados ambos sistemas a los sillares con el vertido de plomo fundido.

El gusto por los acabados o texturas de las fábricas con la forma conocida por "almohadillado", en la práctica totalidad de los puentes. Sus diversos tipos han sido estudiados por Lugli⁹⁷.

⁹⁷ Lugli, G.: "La tecnica edilizia romana". Presso Giovanni Bardi Editore. Roma, 1957.

La construcción de las bóvedas se realizaba con ayuda de cimbras de madera apoyadas en la propia fábrica o en el cauce del río. Si el cauce ofrecía buenas condiciones y el arco era de dimensiones medias, como en el caso del Pont Julien, los tirantes se apoyaban en unos pies derechos de madera que a su vez se encajaban en unos huecos labrados al efecto en el cauce para que no se moviesen.



Afloramiento rocoso en el lugar de construcción del Pont Julien (Francia).

Este sistema tenía un inconveniente, pues ocupaba parte del cauce y entorpecía el discurrir normal de las aguas, que en caso de que se produjesen avenidas imprevistas podía arruinar la cimbra y lo construido.

En las obras donde había ríos importantes, ante la imposibilidad de apoyar las cimbras en el cauce, tuvieron que construirlas de modo que se apoyaran en la propia fábrica del puente, de modo firme para evitar movimientos durante la construcción por el aumento progresivo del peso y con la rigidez necesaria. El modo de apoyo elegido fue variable, con distintos sistemas: en ocasiones la apoyaron en unos cortos voladizos de piedra encastrados en la fábrica, del cuerpo de pilas y estribos como los del puente de Alcántara, o en el intradós de la bóveda ya sea en el arranque, a nivel de los riñones e incluso más arriba como se ven en el Ponte Bibei, en Ponte do Arquinho o en el puente de Alcantarillas en Sevilla, o entre salmeres y riñones como, por ejemplo, en Pont Flavien o Ambroix (Francia).



Voladizos de apoyo de cimbras en el interior de pilas y bóvedas (Pont Flavien-Ambroix-Francia).

Normalmente la parte volada de estas ménsulas tiene la misma sección que la parte empotrada, aunque a veces, por ejemplo en Ponte Bibei, son de menor sección que puede llegar, como en este caso, a la cuarta parte de la parte empotrada.



Piezas más salientes en la cornisa del estribo derecho del puente de Segura para apoyo de cimbras.

En otras ocasiones el apoyo lo realizaron en cornisas o impostas de vuelo uniforme que disponían en los arranques como remate del cuerpo de las pilas y estribos. Una variante la podemos ver en el puente de Segura donde dos piezas de la cornisa colocada a nivel del arranque de los arcos en las caras internas de las pilas y los estribos, sobresalen un poco más que el resto, posiblemente para aumentar la superficie de apoyo.

En algún caso al no haber una cornisa de este tipo, se apoyaban directamente en el cuerpo de la pila o estribo que sobresalían en los arranques de los arcos.

Cuando este apoyo se hace por debajo de los arranques de las bóvedas se dejaron unos huecos o mechinales en los paramentos interiores de las pilas o estribos como se ve en el Ponte Bibei o en el puente de Salamanca (hoy tapados), de

un tamaño estándar de 1 pie de ancho por 1½ de altura, para facilitar la colocación de maderos o almojajas que también sirven de apoyo a los tablones de los andamios.



Mechinales de 1,5x1 pie de apoyo de cimbras, tapados con una pieza, del puente de Salamanca.

En otros casos los mechinales no pasantes tienen forma de cuña y están situados normalmente en el intradós de la bóveda a la altura de los salmeres o más arriba como en el Ponte Freixo y Bibei, y menos frecuentemente en el cuerpo de las pilas, como por ejemplo en el puente de Alconetar. La disposición de los riñones permitía hacer unas cimbras más pequeñas, ya que las primeras dovelas se sostenían por su propio peso pues no deslizaban ya que el coeficiente de rozamiento era menor a la tangente del ángulo de inclinación. Esta estabilidad estaba asegurada hasta la zona de riñones (30° con la horizontal) que marca el límite máximo del coeficiente de rozamiento ($0,57 = \tan 30^\circ$).



Mechinales en cuña y sillares volados del Ponte Bibei.

En el Ponte do Arquinho, en una de las alcantarillas de Cerezo de Riotirón y en el Ponte Freixo se puede apreciar. Una disposición constructiva singular en la cual el cuerpo principal de la arquería del puente forma una unidad diferenciada del resto de la fábrica por la mayor calidad y uniformidad de la sillería, en comparación con la de los accesos y muros de los estribos ejecutados con materiales y aparejo de peor calidad, posiblemente de sillarejo o de mampostería. Esta singularidad constructiva podría explicarse por la actuación en cada parte del puente de diferentes cuadrillas de operarios, más cualificados en la arquería (cimientos en el cauce, pilas y bóvedas) y de menor especialización en los muros de acompañamiento y accesos. La primera también pudo ser responsable de la obra en su conjunto, de decidir la forma y las dimensiones en función de sus observaciones y estudios, de elegir los materiales y la de llevar la dirección de la ejecución hasta que ese cuerpo principal estuviese rematado, momento en el cual abandonaría el tajo y dejaría a otras cuadrillas menos especializadas la tarea de construir los muros de los estribos y los accesos que rematarían la obra.



Diferencia entre la fábrica del cuerpo de la bóveda y los estribos (alcantarilla de S. Ciprián en Cerezo de Riotirón - Burgos).



Sillares alineados que marcan el cuerpo de la bóveda del Ponte do Arquinho.

La disposición de un número par o impar de arcos es una cuestión debatida y hay ejemplos para todos los gustos. En *Gallaecia* hay puentes con número par de arcos, como el Ponte Freixo (4 arcos), Ponte de Pedra (6 arcos) y muy probablemente el puente San Miguel (2 arcos), y también con número impar como el Ponte Bibei (3 arcos) y posiblemente el antiguo puente romano de Ourense (7 arcos). El número impar de arcos facilitaba, en algunos casos como el Ponte Bibei, el que no hubiese una pila en el centro del cauce, pero también se consiguió con un número par de arcos, como en el puente de Alcántara. Es evidente que esta cuestión no era tan sencilla y en ello además influían muchos factores, como la topografía del punto de ubicación, forma del valle, altura de la rasante y quizá otros desconocidos. En todos los diseños se intentaba que el cauce principal del río por donde circulan las aguas bajas de estiaje, quedara siempre libre, como en el puente Navea, de Ourense, Cigarrosa, Bibei, San Miguel en el Xurés (por citar solo ejemplos de la *Gallaecia*) Para facilitar la construcción. Este

problema era menor en aquellos casos en los que las aguas de estiaje alcanzaban un calado pequeño por la amplitud del cauce, como sucedió en el Ponte de Chaves, Ponte de Pedra, Ponte de Lima o Freixo.

Es evidente que los ingenieros romanos tuvieron grandes dificultades para dimensionar correctamente las diferentes partes de un puente. Estas mismas dificultades todavía las había en el siglo XVIII, ya que Gautier las planteó a los teóricos de su tiempo, resumiéndolas en cinco (Gautier, 1716, p. 189). Eran las siguientes:

- Conocer el espesor de los estribos en proporción con la luz de los arcos y de los pesos que ellos deben soportar.
- Cuál debe ser el espesor de las pilas relacionado con la luz y las cargas del arco o arcos.
- Cuál debe ser el espesor de la rosca de un arco en la clave.
- Cuál es la forma del arco de un mismo diámetro que soporte las mayores cargas
- Cuál debe ser el perfil de los muros de sostenimiento en función de su altura.

Es muy difícil que los romanos tuviesen algún tipo de justificación aritmética o geométrica de los diseños y dimensiones de sus puentes, pero hay una cosa indudable, pues cuando se analizan las obras conservadas se intuye un proceso previo de diseño y se aprecia una gran experiencia constructiva aplicada en todas ellas de modo similar, que parecen desmentir esa opinión. Las dificultades que planteaba Gautier a principios del XVIII estaban heredadas desde la Antigüedad como se aprecia cuando se lee a los tratadistas del Renacimiento, cuya gran preocupación era encontrar la fórmula que les permitiese diseñar pilas, estribos, muros y contrafuertes que soportaran los empujes de los arcos o bóvedas.

Algunos autores (Liz Guiral, 1988, p. 168 y ss.) han tratado de ver en algunos puentes la posible existencia de proporciones o modulaciones entre sus dimensiones fundamentales. Se han buscado posibles relaciones o proporciones armónicas de antiguas connotaciones musicales, o la sección o razón áurea; también lo hemos hecho nosotros. Tenemos que reconocer que sólo hemos tenido éxito en el Ponte Freixo donde, aparte de la simetría formal y constructiva de su estructura, las luces de sus arcos están relacionadas según la razón áurea. También se destaca la similitud formal y compositiva de varios puentes con una relación de luces muy parecida, como el Ponte de Pedra, el de Salamanca y el de Vila Formosa, y la simetría formal de los puentes de Albarregas, Los Pedroches, el desaparecido puente de Trajano de Aljucén y el de Alcantarillas.

Únicamente hemos hallado la posible utilización de un módulo dimensional en la longitud del puente entre estribos. Este módulo empleado estaría formado por la suma de la luz del primer arco y el espesor de la primera pila comenzando por una de sus márgenes. Se han calculado algunas de estas modulaciones en puentes hispánicos que conservan la disposición formal original:

1.- PONTE BIBEI	Luz arco izquierdo (LAI) = 6,05 m Ancho pila izquierda (API) = 4,45 m Módulo (M) = 10,50 m (35 pies aproximadamente) Longitud total entre caras de estribos (LT) = 41,87 m Nº de módulos = 3,99 (aprox. 4,00)
2.- PONTE DE ALCÁNTARA	LAD = 13,80 m APD = 6,80 m M = 20,60 m LT = 165,61 m Nº de módulos = 8,04 (aprox. 8,00)
3.- PONTE DE PEDRA	LAI = 8,50 m API = 2,50 m M = 11,00 m LT = 66,35 m Nº de módulos = 6,03 (aprox. 6,00)
4.- PONTE DE VILA FORMOSA	LAD = 8,73 m APD = 3,04 m M = 11,77 m LT = 68,10 m Nº de módulos = 5,79 (aprox. 6,00)
5.- PONTE DE CHAVES (Puente con luces y espesores de pilas iguales)	LAD = 6, 17 m APD = 1,77 m M = 7,94 m LT (parte) = 54,65 m Nº de módulos = 6,88 (aprox. 7,00)
6.- PUENTE DE SALAMANCA	LAD = 9,54 m APD = 2,81 m M = 12,35, m LT = 183,43 m Nº de módulos = 14,85 (aprox. 15)

Los constructores romanos construían el puente, muy posiblemente, arco a arco progresando desde una orilla a la otra, o desde ambas a la vez, con ayuda de una o varias cimbras. Durante la construcción las pilas pasaban por una situación de desequilibrio en la que recibían el empuje descompensado de un arco, que exigía que tuviesen gran espesor (pilas estribos), del orden de $1/2$ a $1/5$ de la luz del vano. Este procedimiento tenía este inconveniente pero presentaba la ventaja de ahorrar cimbras, pues no era necesario cimbrar todas las bóvedas a la vez. También tenía la ventaja de que si un arco colapsaba y se arruinaba, el resto del puente permanecía estable.

El espesor mínimo de las bóvedas de medio punto necesario para que esté asegurada su estabilidad es $1/18$ de la luz del arco, como ya comentamos, y a ese valor se acercaron en el Ponte Bibei y en el Ponte de Lima. Es evidente que los ingenieros romanos no sabían esta

circunstancia ya que sus conocimientos teóricos eran relativamente escasos pero es muy probable que supieran hasta donde podían llegar gracias a la experiencia y al estudio de otras construcciones anteriores.

Los diseños y las dimensiones de los arcos romanos fueron estudiadas y reproducidos en sus obras por los maestros canteros medievales, por los arquitectos e ingenieros modernos, que los tomaron como ejemplos de diseño a imitar. El propio Gautier estudia los arcos de medio punto en el Pont du Gard, los mide y relaciona el espesor de las roscas con la luz (Gautier, 1716, p. 108). En la transmisión de la experiencia constructiva romana han tenido un papel muy importante los arquitectos de Bizancio herederos de la tradición constructiva romana, que bien pudieron conservar hasta el siglo XV las reglas geométricas o aritméticas de los técnicos romanos, y pasarlas a los tratadistas renacentistas. Desgraciadamente, como veremos a lo largo de esta tesis, la dispersión de resultados obtenidos si se aplican las fórmulas de los tratadistas del Renacimiento y modernos, es tan grande que no nos ha permitido sacar conclusiones fiables de esa posible relación.

4.4.7.- La ornamentación y otros detalles

4.4.7.1.- Los arcos de triunfo, honoríficos, conmemorativos u ornamentales.

El llamado "arco de triunfo" es un modelo constructivo de la arquitectura romana cuya finalidad varía, pero parece que, en general, fue construido como marco de entrada que conmemoraba algún éxito y que tuvo, como muchos otros modelos arquitectónicos, precedentes greco-orientales (García Bellido, 1979, p. 54). Es Galliazzo quien cita más motivos para construir estos arcos en relación con los puentes que es lo que interesa:

- En los estribos de los puentes de barcas para darles mayor estabilidad frente a las avenidas, como los construidos sobre el Ródano en Arles (Francia) (Galliazzo, 1995, p. 279).
- Con la misión de dificultar la entrada al puente como los que tuvo el puente de Apolodoro sobre el Danubio.
- Para ornato, conmemoración de algún hecho y de carácter honorífico, como son los dos que se conservan en España (puentes de Alcántara y del Diablo).
- Finalmente en las cercanías del puente, más o menos alejado, y por tanto más o menos vinculado con él, como podría ser el arco cuadrifronte de Caparra construido en la Vía de la Plata, cerca de la mansión *Capara*, y a 150 m al sur del puente romano de Caparra, sobre el cual no pasaba, al parecer la citada vía sino un ramal que de ella partía. (Galliazzo, 1995, p. 529 y ss.)

Centrándonos en los arcos conservados en los puentes españoles, nos referiremos primero al existente en el puente de Alcántara. Este arco, de una sola puerta, está levantado en medio del puente y apoya sus pilares en los contrafuertes de los tímpanos. Construido en *opus quadratum* con almohadillado, fue desmontado y nuevamente montado en el siglo XIX, y está compuesto por dos pilares que sostienen un arco de medio punto de 6,07 m de luz, un frontón entre molduras de cima recta, y rematado con un ático con merlones colocados durante el reinado de Carlos I, que hace dudar de la originalidad de este último cuerpo. La altura total del

arco es de 13,12 m, 11,50 de anchura y 2,61 de profundidad (Liz Guirai, 1988, p. 87 y ss.). En su frontón y pilares se hallan unas inscripciones de las que se escribirá más adelante.



Arco de triunfo en el centro del puente de Alcántara.

Lo que queda del arco honorífico del puente del Diablo en la ciudad catalana de Martorell, construido sobre su estribo izquierdo es el núcleo de hormigón de cal y canto, vertido en capas de unos 50 cm de altura apreciable por las juntas de hormigonado, y por una pequeña parte de



Restos del arco de triunfo del puente del Diablo de Martorell (Barcelona).

la sillería de los pedestales de las pilas y de la bóveda. Los pedestales están formados por una basa de una sola pieza de 59 cm de altura (2 pies), compuesta a su vez, de abajo a arriba, por un zócalo de 30 cm, un listel de 2 cm, una moldura mixta de talón invertido de 15 cm y un nuevo listel de 12 cm, por un cuerpo constituido por dos hiladas de sillares de 95 cm (aproximadamente 3 pies) de altura y finalmente por una cornisa formada por una pieza única de 32 cm de altura compuesta, de abajo a arriba también, por un listel de 2 cm, una moldura mixta de gola o cima recta de 9 cm, dos listeles sobresalientes de 3 y 9 cm de altura y un chaflán recto de 9 cm. Las pilas tendrían resaltadas en las esquinas unas pilastras estriadas de tipo ornamental, que rebasan los arranques de la bóveda y llegan hasta el entablamento compuesto de arquitrabe,

friso y cornisa moldurada. Estaba rematado con un pequeño ático. Esta descripción esta basada en los restos conservados (parte inferior) y en un dibujo de Laborde (Fernández Casado, 1980, s.p.). La bóveda, como ya hemos dicho, está formada por tres anillos de dovelas sin trabazón entre ellos. La luz libre es de 4,85 m

Según Galliazzo este puente tenía otro arco en la otra entrada (la derecha), similar a la que hemos descrito, quizá porque estableció un paralelismo entre esta obra y el puente Flavio de Saint Chamas, que tiene dos, uno en cada cabeza del puente (Galliazzo, 1995, pp. 342 ss.). Esta posibilidad Fernández Casado nunca la admitió.

Al parecer, también tuvo un arco triunfal el puente de Mérida, cuyas ruinas señala a la entrada del lado contrario a la ciudad (margen izquierda) el historiador local emeritense Moreno de Vargas en el siglo XVII (97, Álvarez Martínez, 1983, p. 31).

4.4.7.2.- Impostas o cornisas

Son elementos lineales que rematan, delimitan o separan los distintos cuerpos de un puente, permitiendo detectar, a simple vista, la concepción estructural empleada. Las impostas están dispuestas, generalmente, en un primer nivel, separando los cuerpos inferiores de las pilas y estribos de las partes superiores como son la arquería y los tímpanos, y en un segundo nivel, a mayor cota que el anterior, que remata los tímpanos y manguardias y los separa de la

calzada marcando su nivel al exterior. Hay algunas singularidades, como la que tiene el puente de Vila Formosa, pues la cornisa del segundo nivel está colocada por encima de la rasante, formando parte del pretil, como ya hemos visto.

Puede haber cornisas en otros niveles, sobre todo cuando el puente tiene cierta envergadura, como en el puente de Alconetar y el de Alcántara, con pilas muy altas, circunstancia que motivó, muy probablemente, la colocación de una cornisa a media altura en todo su contorno, con moldura mixta de gola en el primero y recta, a modo de listel o resalte de tizones (Liz Guiral, 1988, p. 76) en el segundo, que en ambos casos divide sus pilas en dos cuerpos.

A los romanos les gustaba este tipo de ornato, muy frecuente en los puentes hispánicos. Excepto en los puentes de



Cornisas a distintas alturas en una de las pilas del puente de Alconetar.

Gallaecia, pues sólo se ha encontrado, durante las obras de restauración, una pequeña pieza de la imposta que tuvo el Ponte Freixo (hablaremos de ella más adelante).

La imposta más sencilla es la que se conseguía con un retranqueo de las arcadas con respecto a la cepa del estribo o pila. Esta disposición la presenta el puente de Chaves aunque aquí al ser la cepa muy corta este escalon se puede considerar como parte de la cimentación. También se puede ver en el estribo izquierdo del Ponte San Miguel en el Xurés (Portugal). En el ámbito peninsular también el puente de Alcántara presenta este retranqueo entre pilas y estribos y los arranques de arcos.



Hiladas de sillares salientes en el arranque de la antigua bóveda del puente de San Miguel (Gêres-Portugal).



Cornisa sencilla de sillares en voladizo del puente de Alcántara (infelizmente restaurada con hormigón armado).

Otra imposta sencilla es la que carece de moldura y simplemente es una fila de sillares escuadrados, a modo de banda o faja, que sobresale unos 30 cm por término medio y de altura variable, definiendo la línea de separación de los elementos compositivos del puente. Ya

hemos mencionado que está presente en el puente de Alcántara y en el de Mérida, más marcado en el tramo cercano a la ciudad. En uno de los sillares de esta cornisa del primer arco visible hoy día está labrado el "falo" profiláctico, del que hablaremos más adelante. Esta cornisa saliente puede estar solo en la zona interna del puente, bajo los arcos, o rebasar ese ámbito y presentarse también en los alzados, en tramos mas o menos largos, tanto en las pilas por los tajamares y paramentos aguas abajo, como en los estribos por los muros de acompañamiento o manguardias.

Las impostas molduradas de los puentes peninsulares son de tipo recto o curvo, y entre todas las conservadas hay un cierto paralelismo. Los puentes de Salamanca y de Vila Formosa tienen, en el primer nivel, una cornisa que abrazaba todo el fuste de la pila tajamar incluido, aunque en el frente apenas se conserva, muy parecida en altura (0,45 m) y labra, con una moldura mixta de talón (cima reversa) y con un listel superior de 0,10 m. El de Vila Formosa tiene un rebaje en su parte inferior. Una cornisa muy parecida a la de este último puente la tiene el de Segura, tanto en los estribos como en las pilas. En los estribos la cornisa también se extiende por los paramentos exteriores una corta longitud, y en las pilas las abraza en todo su contorno salvo en los paramentos del tajamar.



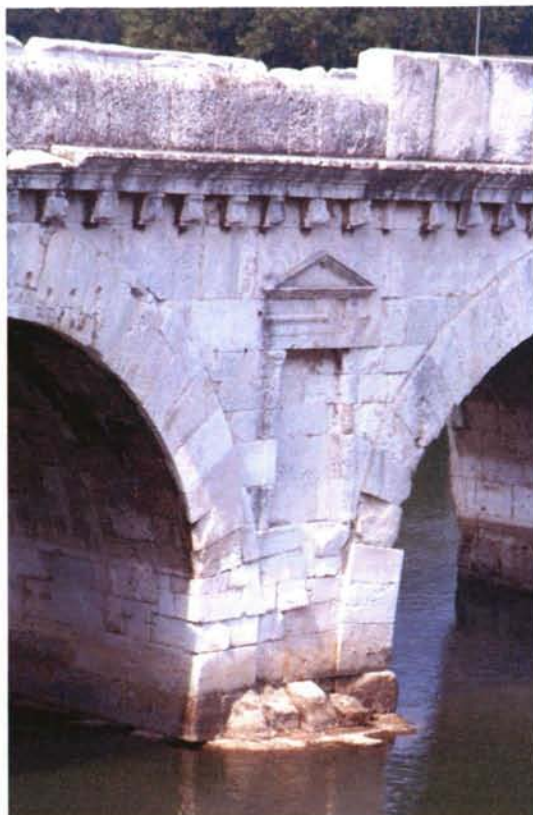
Cornisa a nivel del arranque de las bóvedas de la Ponte Velha de Vila Formosa.

El puente de Salamanca, además, presenta un ligero retranqueo de 10 cm aproximadamente del arranque de los arcos con respecto al corto fuste de las pilas.

Otro tipo de cornisa muy frecuente, con moldura mixta tipo gola o cima recta, la tienen varios puentes hispánicos, como Alconetar (en los tres niveles) y el de Mérida (tramo I) (Álvarez Martínez, 1983, p. 35). Parece que también eran de este tipo la que tenía el puente de Alcántara, de la que se conservan algunas piezas relabradas en el siglo XIX, en el estribo izquierdo, que únicamente conserva el cuarto bocel inferior de la gola (Liz Guiral, 1988, p. 83), la que pudo tener el puente de Albarregas y que dibuja Laborde, y la que se halló en Ponte Freixo.

Las cornisas rectas de chaflán inverso, o de corte oblicuo, están presentes en el puente de Salamanca al nivel de la calzada, en los arranques de las bóvedas del puente de Caparra sólo

en el intradós sin extenderse a los paramentos exteriores, en una de las alcantarillas de Cerezo de Riotirón en Burgos y posiblemente la tuvo el puente de Chaves.



Hornacina en un tímpano del puente de Augusto en Rimini.

4.4.7.3.- Hornacinas o nichos.

Sin duda las hornacinas que tienen mayor calidad decorativa son la que posee el puente de Augusto en la localidad italiana de Rimini. Son rectangulares, poco profundas (22 cm), situadas en los tímpanos a ambos lados del puente y enmarcadas por un pseudo-templete resaltado del paramento, formado por dos pilastras, un entablamento (arquitrabe, friso y cornisa) y un frontón con bordes moldurados. En España hay dos puentes que tienen estos elementos decorativos: el puente de Alcántara con cuatro hornacinas muy sencillas rectangulares, de las que ya hemos hablado, en las que pudieron estar colocadas algunas estatuas de personajes o dioses apotropaicos, y el puente de Alcantarillas en Sevilla que posee, en los tímpanos a ambos lados del puente, los

restos de unos recuadros rectangulares de 5,50 m de largo y 0,75 m de alto (medidas interiores) enmarcados por una cornisa con moldura curva del tipo gola o cima recta con dos rebajes, de 24,5 cm de espesor total.

4.4.7.4.- Inscripciones

Estos detalles no son frecuentes ya que son pocas las inscripciones conservadas en los puentes romanos de todo el imperio (Galliazzo, 1995, p. 520 y ss.). Tenemos que distinguir dos tipos diferentes, según se halle la inscripción en la propia fábrica del puente o en algún elemento añadido, normalmente placas y columnas honoríficas.

Del primer tipo solo se conserva en los puentes de *Hispania* una inscripción en la fábrica del puente en el de Alcantarillas de Sevilla, enmarcada en un recuadro (mencionado en el apartado anterior) con algunas palabras y letras sueltas del texto: "... AVGUSTV PON(TE)M ...", que en los años cincuenta tampoco se podía leer bien (Fernández Casado, 1980, s.p.), y en el cual al parecer, se daba noticia de la inauguración del puente en tiempos de Augusto.

En el puente de Alcántara se hallan varias inscripciones en placas de mármol grapadas a las pilas del arco honorífico y al entablamento del templo ubicado en la orilla izquierda. Una de ellas, incluye un texto donde se cita a Trajano con todos sus títulos honoríficos, se repite en dos placas de mármol colocadas en el arquitrabe del arco honorífico; otras cuatro que ya



Recuadro enmarcado con moldura donde hubo una inscripción en el puente de Alcántarillas (Sevilla).

sendas columnas, una de ellas el conocido "padrao dos povos", que contiene la relación de *civitates* que, al parecer, contribuyeron económicamente a la construcción del puente.

En el puente del Freixo durante las obras de consolidación llevadas a cabo durante los años 1988-89 se halló en el relleno del tímpano de la pila central un trozo del fuste de una columna honorífica o miliario, de 25 cm de diámetro, en el cual se ha podido leer el siguiente texto: PHAIORI SEM ...A ...U..., clara inscripción tardía, que podría corresponder al final de una de las fórmulas características de dedicatorias del Bajo Imperio, (TRIUM)PHATORI SEM(PER) A(UG)U(STO)⁹⁸

originalmente estuvieran colocadas en las pilonas del arco, una de las cuales, copia de la original, contiene los nombres de los *municipia* que contribuyeron a la construcción del puente (Blanco Freijeiro, 1977, p. 30 y ss.). Otra inscripción también grabada en mármol, copia de la original, está colocada en el entablamento del templo y se trata de una dedicatoria al emperador Trajano, un texto epigramático en el cual aparece el nombre del arquitecto del puente *Gaius Iulius Lacer*.

En los puentes galaicos de Chaves y Freixo se han hallado tres inscripciones en columnas. En el puente de Chaves están las copias de dos de ellas en



Columna honorífica del Ponte de Chaves.

⁹⁸ Alvarado Blanco, S.; Durán Fuentes, M.; Nardiz Ortiz, C.: "Restauración de cuatro puentes históricos de Galicia. Experiencias y conclusiones". Revista O.P., nº 38. Colegio de ingenieros de Caminos, C. y P. Barcelona, 1996. P. 116.



Columna honorífica hallada en el interior de uno de los tímpanos del Ponte Freixo.

4.4.7.5.- Pequeños elementos decorativos y otros detalles.

Dentro de este último apartado destacamos en primer lugar las marcas lapidarias. Estas son escasas, no sólo en los puentes sino en toda la arquitectura en general. Hay algunas marcas en el Ponte Bibei que son las únicas existentes en los puentes de la antigua *Hispania*.



Inscripción "X" en un sillar del Ponte Bibei.

Algo más curioso y raro es un pequeño rostro de un posible personaje mítico que hay en la cornisa de la segunda pila por la derecha del puente de Segura, lado aguas abajo. Los tres rayos que coronan la cabeza con un rostro definido solo por tres huecos pequeños que representan la boca y los ojos, le dan ese aspecto de personaje divinizado que desconocemos, a quien puede representar.

Podría no ser romana, pues este puente fue reconstruido a finales del XVI, pero por su situación no tenemos duda de su origen romano.



Rostro labrado en la cornisa de una de las pilas del puente de Segura.

Otros elementos variopintos que se encuentran en los puentes romanos de *Hispania*, son los falos en relieve o grabados. No debe extrañarnos su presencia ya que este órgano sexual masculino se reproducía en época romana en multitud de objetos, pinturas y grabados, pues era un símbolo de fertilidad y un amuleto protector contra todos los males. Se halla representado en las puertas de casas y aceras de Pompeya, en el puente-acueducto de Los Milagros y en una jamba de la puerta de la muralla de la antigua ciudad de Ampurias, por mencionar en algunos lugares donde los hemos visto.



Falo en relieve en una jamba de la puerta de la antigua ciudad de Ampurias.

Por similares motivos se habrán colocado esos falos en los puentes por su carácter profiláctico o propiciatorio, tratando de que la obra estuviese protegida desde su construcción. Hemos hallado estas representaciones en los puentes Bibei, de Mérida y de Segura, aunque en este último dudamos que sean de época romana, pues se hallan grabadas en las boquillas de arcos que fueron reconstruidos en el siglo XVI.



Animal rampante y falo en dovelas de una de las bóvedas reconstruidas en el s.XVI del puente de Segura.

Finalmente reseñar el hallazgo en el Ponte Freixo durante las obras de consolidación de 1989, de nueve pequeños huecos labrados en su lecho de un sillar del tímpano de aguas abajo de la pila central, dispuestos de forma ordenadas y suficientemente espaciados entre sí en tres filas y tres columnas que creemos que se hicieron para practicar un juego igual o similar al de "tres en raya". Desconocemos si los romanos lo practicaban pero sí sabemos que eran amantes de juegos similares que llevaban a cabo en las *tabulae lusoriae*, circulares o cuadradas grabadas en algunas losas. El juego de "tres en raya" está atestiguado en España ya en el siglo XII, en los antepechos de la galería de la iglesia de San Miguel de Fuentidueña (Segovia)⁹⁹.



Juego de "tres en raya" localizado en un sillar de Ponte Freixo.

⁹⁹ Costas Goberna, F.J.; Hidalgo Cuñarro, J. M: "Los juegos de tablero en Galicia". Ediciones Celtaicas. Vigo, 1997.

CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LOS PUENTES ROMANOS DE *HISPANIA*.

5.1.- Análisis de los puentes hispanos.

En lo que sigue se estudian los puentes de *Hispania*, analizando los materiales, las dimensiones principales, sus tipologías más frecuentes y otros aspectos constructivos que pueden orientar, y en algún caso explicar, los criterios de diseño que emplearon los constructores romanos y que nos pueden ayudar a reconocerlos. Se han analizado las siguientes características:

- Las dimensiones de las bóvedas y lo que es más característico de estas obras romanas, sus anchos.
- La relación entre el espesor de la bóveda en la rosca exterior - aquí se mide con facilidad - y las luces de los arcos contiguos.
- La relación entre el espesor de la pila y las luces de los arcos contiguos, que comparándolas entre sí proporcionan una idea sobre su esbeltez y la forma de trabajo y construcción (pilas estribos o pilas equilibradas por los empujes más o menos simétricos de los arcos contiguos).
- La relación que existe entre la suma de luces o vanos huecos del puente y la longitud medida entre los estribos del puente (suma de las luces y los espesores de las pilas).
- El uso generalizado en los puentes de *Hispania* de la sillería almohadillada, realizada con mayor o menor protuberancia, con bordes labrados o sin ellos.
- La utilización de un recurso constructivo (aparejo) que permitía trabar las fábricas, sobre todo en la parte inferior de pilas, estribos y muros, consistente en colocar hiladas alternas de sillares colocados a soga y a tizón.
- La rasante de la calzada es una buena característica de romanidad ya que, o bien son horizontales (la mayoría), o tienen doble pendiente que no supera el 3%.
- También se ha considerado que la uniformidad del espesor de las dovelas en todo el ancho de la bóveda es una característica de la construcción en época romana, aunque por supuesto no suficiente, pero sí para distinguirlos, sobre todo de los puentes de origen medieval cuya irregularidad es manifiesta. En la mayoría de los puentes romanos de *Hispania* desconocemos si el espesor de la bóveda es el mismo en toda su anchura, por lo que se analizará la uniformidad del espesor de las dovelas exclusivamente en las boquillas.
- La presencia de agujeros en las caras de los sillares para facilitar su izado y manejo con el *ferrei forcipes*. Se ha considerado como una característica que delata la construcción en época romana del puente que los poseía, pero no de forma concluyente ya que también se hallan en obras posteriores.

5.1.1.- Los materiales constructivos.

Ya se ha comentado que los materiales empleados en la construcción de los puentes de *Hispania* eran los que existían en los alrededores del lugar de ubicación elegido, que si tenemos en cuenta la división territorial administrativa de *Hispania* llevada a cabo por Augusto¹⁰⁰, entre el 27 y el 14 a.C., podemos decir que la parte granítica de *Hispania* se hallaba en la *Lusitania* y parte de la *Citerior* o *Tarraconense*, la parte donde abunda el esquisto o pizarra, estaba en la *Citerior*, y la zona caliza o arenisca en la *Baetica* y en la parte mediterránea de la *Citerior*. La *Gallaecia* que perteneció a la provincia de la *Lusitania* primero y a la *Citerior* después, está claramente inmersa en la zona granítica, por lo que es el material constructivo por excelencia. Este material admite muy bien la labra que querían dar a las fábricas de los puentes, tanto exteriormente (almohadillado) como en las caras de contacto de los sillares de gran finura para conseguir un buen contacto en seco.

El esquisto pudo ser otro material pétreo muy empleado en las zonas donde abunda. La incapacidad para labrarse y su menor dureza comparándola con el granito quizá hayan sido los motivos por los que no debió utilizarse en aquellas partes del puente más expuestas como los aristones de las bóvedas, las cimentaciones o los tajamares, y que posiblemente se limitase al interior de las bóvedas y a los paramentos de los tímpanos como puede verse hoy en la fábrica del puente de Lugo. Por lo general tuvo que ser aparejada con mortero de cal, que trababa y daba forma a la fábrica. La conservación de estos modos constructivos romanos a lo largo de muchos siglos dificulta la datación de los puentes contruidos con este material.

La arenisca y conglomerados calizos son otros materiales pétreos que se ven en los puentes de la *Baetica* como el de Alcantarillas, Los Pedroches y Villa del Río. Son materiales muy fáciles de labrar pero blandos y por tanto fácilmente erosionables.

La madera es un material muy empleado en las construcciones auxiliares de cimbrado, andamiaje y apeo, y posiblemente también en estructuras de puentes. De esta última utilización no se conservan restos, salvo en algunos restos arqueológicos de puentes contruidos en el norte de Europa. En *Gallaecia* hubo un puente de madera con pilas de fábrica, A Pontóriga contruido sobre el río Sil, del que únicamente se conservan los núcleos del hormigón de relleno de las pilas de sillería. La madera fue el material principal ya que con ella se contruyó toda la superestructura.

Otros materiales como el hormigón de cal, *opus cementiciae*, y el ladrillo, *opus latericiae*, fueron materiales auxiliares muy empleados en las construcciones romanas y en particular en los puentes. El hormigón se usó para trabar internamente las fábricas de sillería, por ejemplo en A Pontóriga y en el puente de Alconetar, ejecutado en capas de unos 50 cm de espesor. La sillería exterior servía como molde o encofrado. En la Alcantarilla de Mérida el hormigón de cal se empleó de forma inteligente y singular ya que sirvió para formatear la clave que cerraba la bóveda de ladrillo por su facilidad de vertido y moldeado, ajuste al resto de la fábrica y

100 Tuñón de Lara, M y otros: "Primeras culturas de Hispania Romana". Editorial Labor. Barcelona, 1980. p. 290 y ss.

resistencia a compresión que lo hace un material idóneo, fácil y rápido de colocar y económico para ese fin, pues sólo necesita un pequeño encofrado en el intradós y evita el costoso trabajo de labrar o fabricar una pieza a medida. El ladrillo cerámico se empleó como material principal, por ejemplo en la bóveda de la Alcantarilla emeritense de 1x1,5 pies o en el posible puente romano del Odiel en Huelva de 1x0,5 pies, o en un papel secundario, como elemento de encofrado o de nivelación, por ejemplo en la Alcantarilla, formando parte de las verdugadas de regularización en los muros de acompañamiento de mampostería hidráulica. Similares verdugadas de ladrillo colocadas con una finalidad eminentemente decorativa están presentes en el cercano puente-acueducto de Los Milagros.

5.1.2.- Tipología de los puentes conservados.

Ya Carlos Fernández Casado intentó una mínima sistematización de los puentes romanos españoles, ordenándolos desde un punto de vista morfológico y cronológico, a pesar de la

dificultad que ello entrañaba y que él mismo reconoció. La ordenación la realizó en torno a tres puentes típicos: Mérida, Alcántara y Cangas de Onís (que consideró erróneamente como romano).



Sillería de piedra y verdugadas de ladrillo intermedias en el puente acueducto de Los Milagros en Mérida.

El primer modelo de puente, representado por el de Mérida, es una obra baja de poca altura, rasante de ligero lomo de asno, con una relación grande del espesor de la pila y las luces contiguas, con lo que se conseguía que tuviese una insuficiente sección de desagüe, que trataron de aumentar con desagüeros en los tímpanos, consecuencia de "... la falta de dominio en el modo de enfocar el problema del puente". Desde el punto de vista de su datación, los supone construidos en la primera época de la romanización.

El modelo representado por el puente de Alcántara lo eligió como prototipo indiscutible de los puentes imperiales o de una segunda época, donde "... se aprecia un dominio técnico del tema que les permite destacar con naturalidad y fuerza sus valores expresivos". La característica más acusada, según Fernández Casado, "... es que su relación de vano a macizo aumenta de modo notable con respecto a los anteriores".

Por último señala un tercer modelo representado por aquellos puentes de un único arco estribado directamente sobre las márgenes del río, generalmente encañonado en profundos

valles en V. Desde nuestro punto de vista es el modelo más discutible, ya que ningún puente romano conservado tiene las características del puente de Cangas de Onís, aunque el modelo de puente representado por el Pont Julien tiene ciertos parecidos.

Desde nuestro punto de vista y de acuerdo con los puentes conservados, está claro que perviven otros modelos que podrían estar justificado su empleo en uno u otro caso en función de la capacidad de desagüe. Estos modelos se han reducido a los cinco siguientes:

- El primer modelo es un puente bajo con rasante horizontal y un número alto de arcos, empleado para cruzar ríos que discurren por valles amplios y que podrían ser rebasados sin mucho problema por las grandes avenidas. Dentro de este tipo incluimos los puentes de Mérida, Salamanca, Ponte de Pedra, Ponte de Trajano en Chaves, puente romano de Lugo, Ponte de Lima y Ponte Velha de Vila Formosa.



*Modelo de puente largo de bóvedas iguales y rasante horizontal
(puente de Salamanca).*

- El segundo tipo sería un puente apropiado para valles de tipo medio o ligeramente encajados donde se desarrolla un modelo con rasante horizontal o ligeramente alomada, no muy alta, y una distribución simétrica de bóvedas de diferentes luces respecto al arco o pila central. Incluimos en este apartado al Ponte Freixo, Ponte da Cigarrosa, puentes de Alconetar, Caparra, Pedroches y Villa del Río, el desaparecido puente de Aljucén y el posible puente romano de Ourense. En estos puentes la problemática más importante era la insuficiente capacidad de desagüe frente a determinadas avenidas que en muchos de ellos provocaron su ruina total o parcial.



Ponte Freixo, modelo de puente con distribución simétrica de luces levantado en un valle de tipo medio.

- El tercer modelo que hemos considerado es el que más se construyó en los valles encajados y que, en función de su longitud, tuvo más o menos arcos. Sus características más importantes son la rasante de la plataforma horizontal o ligeramente en doble pendiente construida a una cota elevada con respecto al cauce para permitir el desagüe de las avenidas y disponer de una composición más o menos simétrica. Dentro de este modelo incluimos el Ponte Bibei, A Pontóriga, Ponte Navea, el posible puente de Martorell y los puentes de Alcántara y Segura.



Puente de Segura, ejemplo de obra ejecutada en valles estrechos, con gran capacidad de desagüe.

- Destacamos un cuarto tipo de puente con dos arcos de luces muy desiguales, uno de mayor amplitud dispuesto sobre el cauce principal y otro de menor abertura situado fuera del cauce de aguas normales, que normalmente perfora uno de los estribos que tiene largos muros de acompañamiento. La rasante puede ser horizontal o ligeramente inclinada, construida a una cota determinada por el arco principal. En esta tipología se

han incluido los puentes de San Miguel, Ponte Pedriña, y el posible puente de tradición romana, el puente Viejo sobre el río Odiel.



Puente Viejo sobre el río Odiel, modelo de puente de dos bóvedas de desigual tamaño, una sobre el cauce y otra fuera, a modo de desagadero.

- El quinto modelo es el puente de un arco que principalmente se construyó sobre ríos pequeños y arroyos. Son generalmente alcantarillas de poca luz, por ejemplo los 4,10 m de la de Mérida, 4,40 m en la de Sao Lourenço, los 5,00 m de las dos alcantarillas de Cerezo de Riotirón, alcanzando en algún caso valores importantes como los 9,50 m del puente de Ribeira do Forno y los 7,36 m en el Ponte do Arquinho. Algunos de estos ejemplos (Sao Lourenço, Cerezo de Riotirón y Ponte do Arquinho) presentan la curiosidad constructiva de que el ancho de su bóveda es igual a la luz.



Ponte do Arquinho, de una sola bóveda con aletas de encauzamiento aguas arriba.

Puentes	Arco de mayor luz		Espesor de las pilas a ambos lados del arco		Rasante calzada	Tamaño puente		Tipo fábrica	Hiladas alternas Soga/Litón	Relaciones dimensionales		
	Luz (m)	Ancho (m)	Exp. Rosca	Uniform. rosca		Long. (m)	Lluero (m)			E. pila/luz	E. rosca/luz	Lh/Lt
1	Ponte de S. Miguel (5)	8.00	5.50	0.70	?	18.40	12.40	Sillería almohadillada	si	0.75	0.09	0.67
2	Ponte Ribeira do Forno (5)	9.50	5.40	0.70	?	--	--	Sillería almohadillada	si	--	0.07	--
3	P. de Pedra	9.45	6.10	0.70	Si	66.40	53.70	Sillería almohadillada	no	0.26	0.07	0.81
4	P. de Chaves	6.25	6.10	0.85	Si	79.87	56.18	Sillería almohadillada	no	0.35	0.14	0.70
5	P. do Arquinhão	7.36	7.40	0.55	Si	--	--	Sillería almohadillada	si	--	0.07	--
6	P. Pedrita	14.70	5.74	1.00	Si	25.20	17.80	Sillería almohadillada	?	0.50	0.07	0.71
7	P. Freixo	7.78	4.60	0.70	Si	34.20	24.95	Sillería almohadillada	si	0.36	0.09	0.73
8	P. Vella de Lugo (2)	10.40	5.00	?	?	106.40	74.20	Sillería almohadillada	si	0.44	?	0.70
9	Ponte de Lima (3)	11.54	7.10	0.65	No	53.30	44.20	Sillería almohadillada	no	0.18	0.06	0.83
10	A. Ponte Vella de Churense (4) (2)	33.20	6, 10, 6, 40	?	?	185.60	132.80	Sillería almohadillada	?	0.28	?	0.72
11	Ponte Romano de Bafios de Molgas (4) (2)	10.50	4.15	?	?	--	--	Sillería almohadillada	?	--	?	--
12	P. Navea (4) (2)	19.30	6.40	?	?	--	--	Sillería almohadillada	si	--	?	--
13	P. Bivel	18.60	6.30	0.90	si	41.92	33.30	Sillería almohadillada	si	0.24	0.05	0.79
14	Ponte de A. Cigarrosa (4) (2)	20.00	6.15	?	?	77.12	55.00	Sillería almohadillada	si	0.24	?	0.71
15	Pontón de San Lorenzo	4.36	4.40	0.70	si	--	--	Sillería almohadillada	no	--	0.16	--
16	Ponte Romano de Salamanca (1)	10.10	6.70	1.00	si	186.22	144.87	Sillería almohadillada	si	0.26	0.10	0.78
17	Ponte de Caparra (4)	8.87	5.00	0.60	si	33.02	23.02	Sillería almohadillada	no	0.43	0.07	0.70
18	Ponte de Alconetar	10.20	(bóveda antigua) 6,55 y 6,80	1.25	si	278.00	182.00	Sillería almohadillada	si	0.45	0.12	0.65
19	Ponte de Vila Formosa	8.97	6.80	1.05	si	68.10	53.10	Sillería almohadillada	no	0.33	0.12	0.78
20	Ponte de Albarregas	5.34	7.00	0.65	si	30.75	21.22	Sillería almohadillada	si	0.62	0.12	0.69
21	P. Mérida (Tramo I)	10.05	7.80	0.90	si	128.60	82.50	Sillería almohadillada	no	0.54	0.09	0.64
22	P. Mérida (Tramo III)	7.25	7.20	0.90	--	200.85	121.60	Sillería almohadillada	no	0.59	0.12	0.61
23	Alcantarilla de Mérida (7)	4.10	6.00	0.89	no	--	--	Sillería almohadillada y ladrillo	no	--	0.22	--
24	Ponte de Segura	10.50	6.70	1.00	si	55.15	43.50	Sillería almohadillada	si	0.27	0.10	0.79
25	Ponte de Alcántara	28.80	7.80	1.65	si	165.70	129.83	Sillería almohadillada	si	0.29	0.06	0.78
26	Ponte de Trajano o de Alucén (2)	7.59	6.65	0.80	si	49.09	33.55	Sillería almohadillada	?	0.40	0.11	0.68
27	Ponte de Alcantarillas	8.95	6.00	1.05	si	22.60	17.90	Sillería almohadillada	si	0.53	0.12	0.79
28	Los Pedrosos (4)	4.55	4.87	0.80	no	13.53	8.43	Sillería almohadillada	no	0.58	0.18	0.62
29	Alcantarilla de San Ciprián	4.90	4.90	0.59	si	--	--	Sillería almohadillada	no	--	0.12	--
30	San García	9.04	5.20	0.86	si	27.63	20.07	Sillería almohadillada	no	0.34	0.10	0.73
31	Ponte de Villa del Río	16.00	6.25	?	--	58.00	48.00	Sillería almohadillada	?	0.31	?	0.83

(1) Datos de la parte romana conservada
(2) Reconstrucción hipotética del puente

(3) Tramo conservado del antiguo puente
(4) Puente que conserva restos de época romana

(5) Puente en ruinas
(6) Luz media de boquillas

(7) Bóveda de ladrillo

5.1.3.- Luces y anchos de los arcos.

Se ha tratado de analizar las luces y los anchos de las bóvedas de los puentes romanos de *Hispania*, intentando extraer alguna conclusión de los resultados estadísticos obtenidos. Tenemos que reconocer que el estudio de las luces no ha sido concluyente, pues esta dimensión depende casi exclusivamente del tamaño del obstáculo y no de la voluntad de su constructor, pues nunca hemos visto ninguna desproporción o diseño fuera de escala en una obra romana. En cambio, el ancho sí que es bastante concluyente y definitorio pues, como veremos, los puentes romanos son casi siempre anchos, entendiéndose por esto que tienen más de 5 m, independientemente del tamaño del obstáculo y de la luz de las bóvedas, y dependiendo de otros factores como la comodidad del tránsito y quizá la categoría del camino. Los ingenieros de aquella época trataban de construir una red viaria fácil de transitar, amplia, con pendientes suaves y obras de paso funcionales. No les gustaba, a la vista de lo realizado, que la vía se estrechase al llegar al tablero del puente

En primer lugar se ha realizado un estudio estadístico de una muestra formada por las luces de las bóvedas de los puentes peninsulares exclusivamente, de la que se han obtenido los siguientes datos y conclusiones:

Agrupamos las diferentes medidas y hallamos sus frecuencias:

TRAMO DE LUZ	Nº DE BÓVEDAS	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA ACUMULADA (%)
< 4,00 m	3	2,61	2,61
4,00 a 4,99 m	5	4,35	6,96
5,00 a 5,99 m	8	6,84	13,80
6,00 a 6,99 m	15	12,82	26,62
7,00 a 7,99 m	14	11,97	38,59
8,00 a 8,99 m	23	19,66	58,25
9,00 a 9,99 m	23	19,66	77,91
10,00 a 10,99 m	10	8,55	86,46
11,00 a 11,99 m	1	0,84	87,30
12,00 a 12,99 m	0	0,00	87,30
13,00 a 13,99 m	2	1,70	89,00
14,00 a 14,99 m	1	0,84	89,84
15,00 a 15,99 m	0	0,00	89,84
16,00 a 16,99 m	0	0,00	89,84
17,00 a 17,99 m	0	0,00	89,84
18,00 a 18,99 m	1	0,84	90,68
19,00 a 19,99 m	2	1,70	92,38
20,00 a 20,99 m	2	1,70	94,08
21,00 a 21,99 m	0	0,00	94,08

TRAMO DE LUZ	Nº DE BÓVEDAS	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA ACUMULADA (%)
22,00 a 22,99 m	1	0,84	94,92
23,00 a 23,99 m	1	0,84	95,76
24,00 a 25,00 m	1	0,84	96,60
> 25,00 m	4	3,40	100,00
Tamaño de la Muestra	117	Luces de bóvedas de puentes hispanos	

A la vista de estos valores podemos decir que solo el 86,5 % de los puentes tienen bóvedas cuya luz es menor de 11,00 m y tan solo el 13,80 % la tienen inferior a 6,00 m. Entre los valores de 6,00 y 20,00 m están casi el 80 % de los puentes peninsulares estudiados (78,58%).

Si aplicamos a la variable "luz de bóveda" una distribución normal, que a la vista de la distribución de frecuencias es la que mejor se ajusta, tenemos que la probabilidad de que esa variable A sea menor que un determinado valor L^* , viene dada por la expresión matemática:

$$F(L) = P(L < L^*) = F_u((L^* - L_m)/\sigma) = F_u(u)$$

El valor de " u " se obtiene al fijar un valor de L^* y con ese resultado y utilizando tablas se conoce el valor $F(u)$ que es la probabilidad de que $L < L^*$. Si " u " diese un resultado negativo:

$$F_u(-u) = 1 - F_u(u)$$

De acuerdo con esto si tomamos los valores de A^* anteriores obtenemos:

$$L_m = 9,62 \text{ m}$$

$$\sigma = 4,99 \text{ m}$$

1. $L^* = 10,00 \text{ m} \rightarrow u = 0,074 \rightarrow F(0,074) = 0,529$, que representa la probabilidad de que un puente romano tenga una luz de bóveda menor de 10,00 m (53 %).
2. $L^* = 8,00 \text{ m} \rightarrow u = -0,326 \rightarrow F(-0,326) = 1 - F(0,326) = 1 - 0,627 = 0,373$, que en este caso es la probabilidad de que tenga una luz de la bóveda menor de 8,00, es decir un 37 % aproximadamente y, por tanto, la probabilidad de que sea mayor es del 63 %.
3. $L^* = 6,00 \text{ m} \rightarrow u = -0,726 \rightarrow F(-0,726) = 1 - F(0,726) = 1 - 0,766 = 0,234$. Manifiesta que la probabilidad de que la luz de una bóveda sea menor de 6,00 m es del 23 % aproximadamente y que sea mayor un 77%.

En segundo lugar se ha confeccionado una muestra de anchos de puentes del sur de Europa, realizada con los datos de 109 puentes italianos que están incluidos en la obra de Galliazzo (1995), comprobada su romanidad y la fiabilidad de sus medidas (cotejándolas con algunas que hemos tomado personalmente), con los valores de los correspondientes a los puentes peninsulares (28) medidos por nosotros y con las de cinco puentes del sur de Francia.

Esta amplia muestra de 143 puentes nos ha permitido realizar los siguientes análisis estadísticos: agrupamos las diferentes medidas de 50 cm en 50 cm, partiendo del menor valor que hemos anotado en una alcantarilla italiana – Ponte Nepesino en la *Vía Amerina* - de 3,40 m hasta el máximo valor que tiene la alcantarilla denominado Ponte Camillario en la *Vía Casia* (Viterbo) de 12,95 m:

TRAMO DE ANCHO	Nº DE PUENTES	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA ACUMULADA (%)
< 3,49 m	3	2,10	2,10
3,50 a 3,99 m	4	2,80	4,90
4,00 a 4,49 m	9	6,29	11,19
4,50 a 4,99 m	11	7,70	18,89
5,00 a 5,49 m	16	11,19	30,08
5,50 a 5,99 m	12	8,39	38,47
6,00 a 6,49 m	30	20,97	59,44
6,50 a 6,99 m	12	8,39	67,83
7,00 a 7,49 m	15	10,48	78,31
7,50 a 7,99 m	8	5,59	83,90
8,00 a 8,49 m	5	3,50	87,40
8,50 a 8,99 m	5	3,50	90,90
9,00 a 9,49 m	2	1,40	92,30
9,50 a 9,99 m	2	1,40	93,70
10,00 a 10,49 m	2	1,40	95,10
10,50 a 10,99 m	4	2,80	97,90
11,00 a 11,49 m	0	0,00	97,90
11,50 a 11,99 m	1	0,70	98,60
12,00 a 12,49 m	0	0,00	98,60
12,49 a 13,00 m	2	1,40	100,00

A la vista de estos valores podemos decir que solo el 19% de los puentes tienen anchuras de sus bóvedas menores a 5,00 m y tan solo el 5 % la tienen inferior a 4,00 m. Valores de anchura de bóvedas entre 5,00 y 8,00 m los tienen el 64,80 % de los puentes estudiados.

El ancho de bóveda es uno de los elementos - junto con la presencia de almohadillado y la alternancia de hiladas a soga y tizón - más característico y definitorio de los puentes romanos. Excuso decir que estas características no son exclusivas, aunque como veremos un puente con todas estas características juntas es altamente probable que sea romano. Por tanto, si queremos estudiar las probabilidades de que un puente tenga una determinada anchura utilizamos una función de distribución estadística $F(A)$, siendo "A" el valor genérico de la anchura de la bóveda¹⁰¹.

101 Benkamin, J.R.; Allin Cornell, C.: "Probabilidad y estadística en Ingeniería Civil". Editorial Mc Graw Hill. S/a.

Si aplicamos a esta variable "ancho de bóveda" una distribución normal, que a la vista de la curva de frecuencias es la que mejor se ajusta, tenemos que la probabilidad de que esa variable A sea menor que un determinado valor A^* , viene dada por la expresión matemática:

$$F(A) = P(A < A^*) = F_u((A^* - A_m)/\sigma) = F_u(u)$$

El valor de " u " lo obtenemos al fijar un valor a A^* y mediante tablas se conoce $F(u)$ que es la probabilidad de que $A < A^*$. Si " u " diese un resultado negativo:

$$F_u(-u) = 1 - F_u(u)$$

De acuerdo con esto si tomamos los valores de A^* anteriores obtenemos:

$$A_m = 6,55 \text{ m}$$

$$\sigma = 1,86 \text{ m}$$

1. $A^* = 6,00 \text{ m} \rightarrow u = -0,29 \rightarrow F(-0,29) = 1 - F(0,29) = 1 - 0,6141 = 0,3859$ que representa la probabilidad de que un puente romano tenga una anchura de bóveda menor de 6,00 m es del 39 % aproximadamente, o lo que es lo mismo un 61% de que la tenga mayor.
2. $A^* = 5,00 \text{ m} \rightarrow u = -0,83 \rightarrow F(-0,83) = 1 - F(0,83) = 1 - 0,7967 = 0,2033$ que significa que la probabilidad de que tenga una anchura de bóveda menor de 5,00 m es del 20 % aproximadamente, o lo que es lo mismo un 80% de que la tenga mayor.
3. $A^* = 4,60 \text{ m} \rightarrow u = -1,04 \rightarrow F(-1,04) = 1 - F(1,04) = 1 - 0,85 = 0,15$ que representa la probabilidad de que tenga una anchura de bóveda menor de 4,60 m es del 15 % y que sea mayor un 85%.
4. $A^* = 4,00 \text{ m} \rightarrow u = -1,365 \rightarrow F(-1,365) = 1 - F(1,365) = 1 - 0,914 = 0,086$ que manifiesta que la probabilidad de que un puente romano tenga una anchura de bóveda menor de 4,00 m es del 9 % aproximadamente.

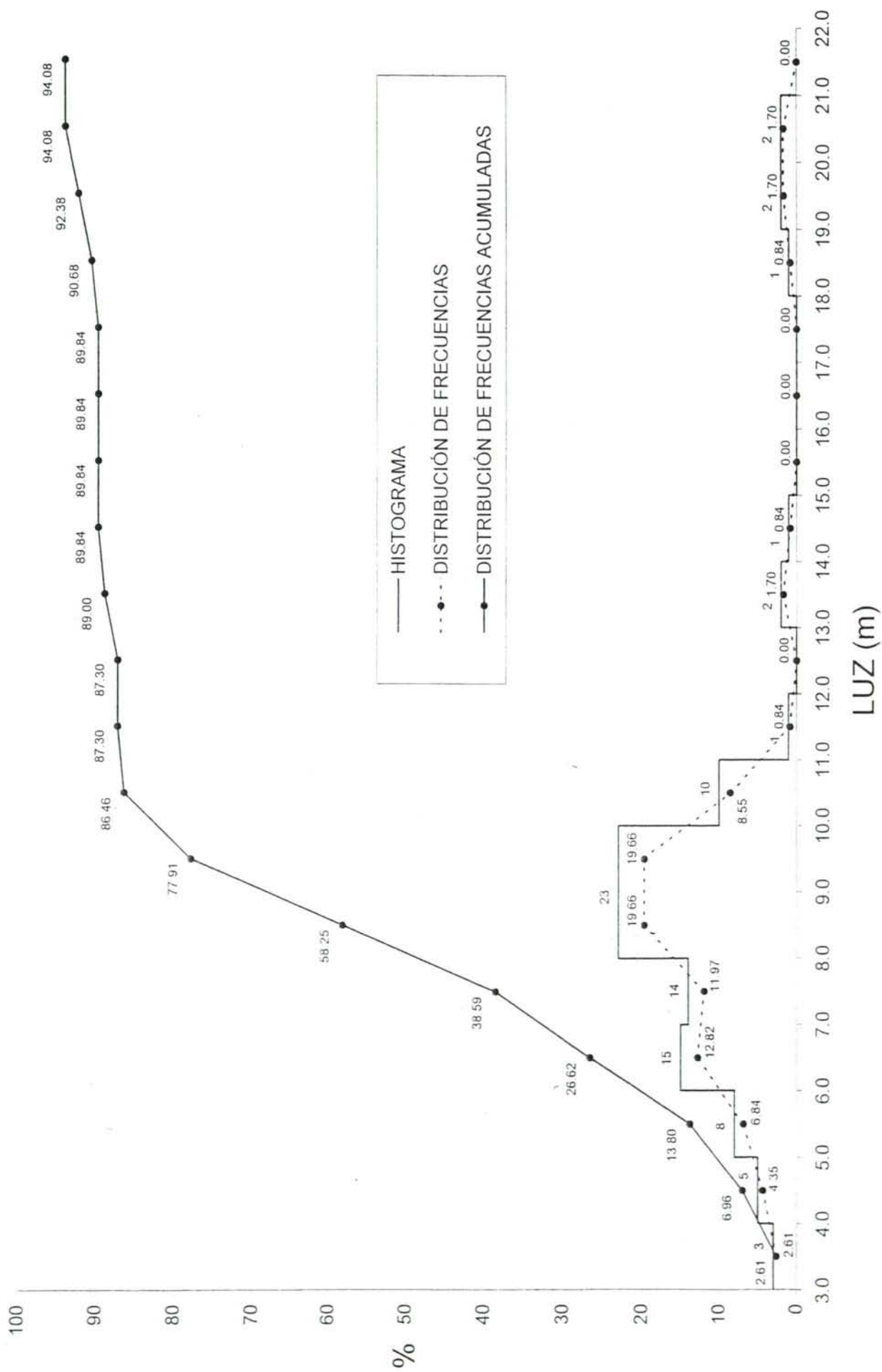
Si aplicamos todo este procedimiento únicamente a los puentes peninsulares, obtenemos lo siguiente (utilizando también una distribución normal):

$$\begin{aligned} n &= 29 \text{ puentes} \\ A_m &= 5,95 \text{ metros} \\ \sigma &= 0,884 \end{aligned}$$

Este valor de la desviación típica menor que en la otra muestra refleja una mayor uniformidad de los valores peninsulares, cuyos anchos están más concentrados en torno al valor medio que, en cambio, es ligeramente menor.

Las diferentes probabilidades en este caso son las siguientes:

LUCES DE BÓVEDAS DE PUENTES ROMANOS DE HISPANIA



1. Mayor de 6,00 metros:

$$F(u) = P(A < 6,00 \text{ m}) = F((6-5,95)/0,884) = F(0,057) = 0,52$$

Es decir que la probabilidad de que un puente romano de *Hispania* tenga bóvedas de ancho superior a 6,00 m es del 48 % aproximadamente, probabilidad más baja que la obtenida en la muestra europea del 61%.

2. Mayor de 5,00 metros:

$$F(u) = P(A < 5,00 \text{ m}) = F(-1,075) = 1 - F(1,075) = 1 - 0,858 = 0,142$$

La probabilidad pasa a ser del 86 % de que posea bóvedas con una anchura mayor de 5,00 m En la muestra europea es del 80 %.

3. Mayor de 4,60 metros:

$F(u) = P(A < 4,60 \text{ m}) = F(-1,53) = 0,063$ donde la probabilidad estudiada pasa a ser del 94 % aproximadamente, esto es que la anchura de sus bóvedas superen los 4,60 m En la muestra europea era del 85%.

Las bóvedas de los puentes de *Gallaecia* responden a los valores habituales que se hallan en el resto de los puentes del imperio:

Ancho de bóveda.	Puente.
4,50 a 5,00 m	A Pontóriga (4,50 m). Alcantarilla de Sao Lourenço. Ponte Freixo (4,60 m).
5,00 a 6,00 m	Ponte de Lugo (5,00 m). Ponte Pedriña (5,74 m). P. San Miguel (5,50 m). Ponte da Ribeira do Forno (5,50 m).
6,00 a 6,50 m	Ponte Bibei (6,30 m). Ponte Navea (6,30 m). Ponte de Ourense (6,15 m). Ponte de Pedra (6,00 m). Ponte de Chaves (6,10 m). Ponte de A Cigarrosa (6,15 m).
>6,50 m	Ponte de Lima (7,10 m). Ponte do Arquinho (7,30 m).

Como podemos apreciar son valores altos si los comparamos con los de puentes medievales, donde este deseo de construir un puente ancho que facilita el paso pierde importancia y pasa a un segundo plano, ya que muchas veces lo que se trata es de lo contrario, de dificultarlo y controlarlo. Desde el medievo, donde los puentes no superan en la mayoría de los casos los 4,00 m, hasta el XVIII e incluso parte del XIX, los puentes tuvieron una plataforma más estrecha que el camino al que daban servicio, disponiendo apartaderos en sus cabezas.

5.1.4.- Relación entre el espesor y la luz de las bóvedas.

Esta relación la hemos hallado exclusivamente para los puentes de *Hispania* que han conservado alguna o todas las bóvedas originales, a partir de las medidas de los espesores en las boquillas representativas, en principio, del espesor de toda la bóveda como se comprueba en el trasdós de Ponte Freixo, Ponte do Arquinho, alcantarilla de Sao Lourenço, Ponte de Lima, Ponte San Miguel, Ribeira do Forno y Alconetar.

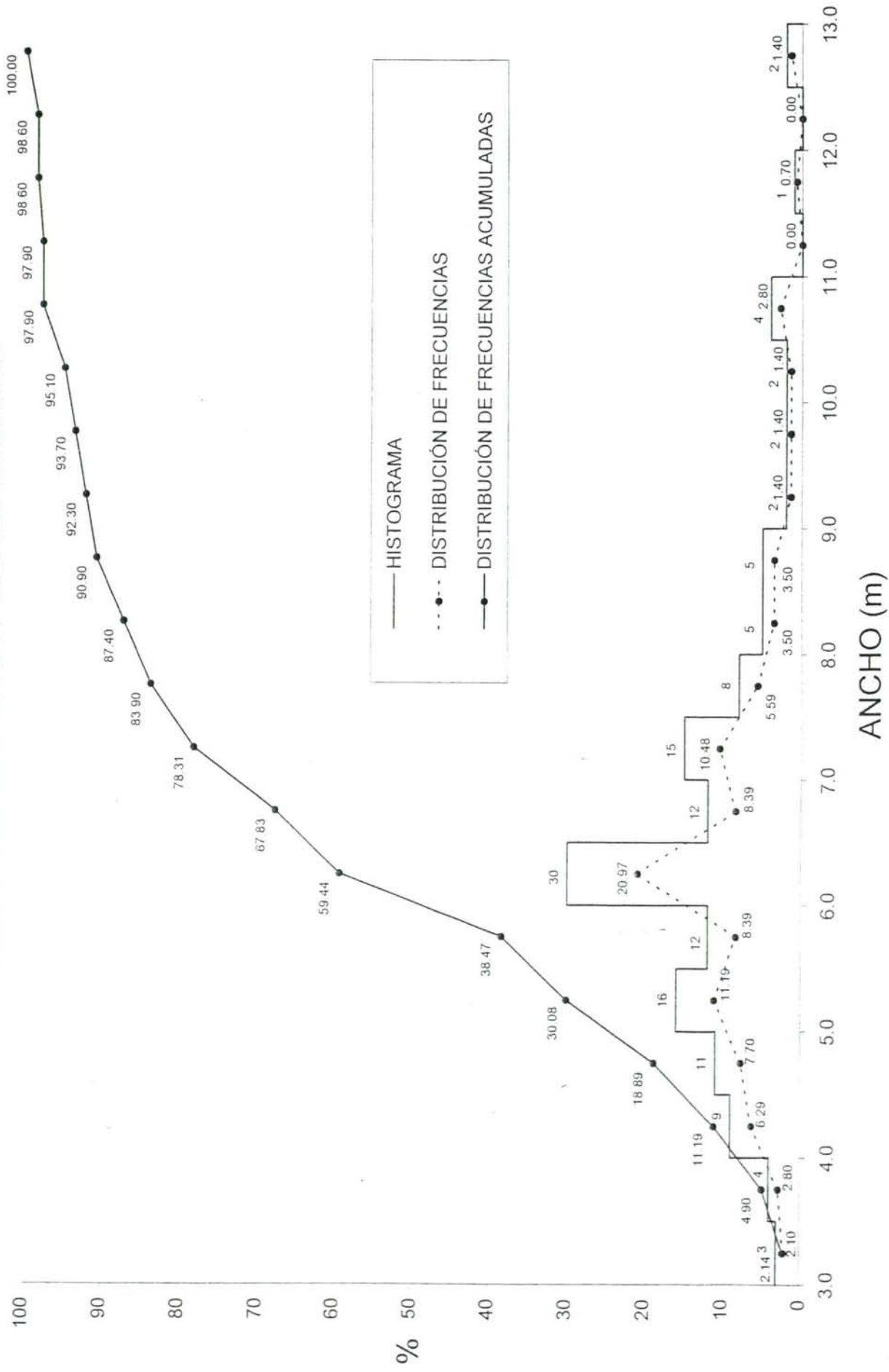
Esta relación que fija el espesor de la bóveda en función de su luz aparece en los tratados de arquitectura del Renacimiento y posteriores, de tipo proporcional ya que a mayor luz mayor espesor. En el siglo XIX se dieron cuenta de que los valores obtenidos por estas reglas se podían disminuir para las grandes luces, pues los puentes se hacen más estables a medida que crecen en tamaño, por lo que sus elementos se pueden hacer más delgados. Ejemplos de estas reglas fueron las que propuso L.B.Alberti (siglo XV) que estableció que el espesor fuese 1/10 de la luz, la misma que después propone Juanelo Turriano (S.XVI) que probablemente le copió, la de Palladio (siglo XVI) que recomendó entre 1/12 y 1/17 de la luz y los españoles Fray Lorenzo de San Nicolás y Simón García (siglo XVII) que aconsejaron 1/10, por lo menos en los aristones. En las propuestas posteriores ya se introducían otros factores, así Guatire (siglo XVIII) estableció la proporción luz/15 para los puentes de piedra dura, Perronet (siglo XVIII) la de luz/24+0,325 m y Gauthey en el siglo XIX que ya la fijó teniendo en cuenta la luz del arco: 0,33 m para los arcos menores de 2 m; para el abanico de luces entre 2 a 16 m, en luz/48 + 0,33; luz/24 para los arcos entre 16 y 32 m, y para mayores luces luz/24 + (L-32)/48¹⁰².

Los valores tomados de los puentes que se relacionan a continuación expresados en metros, corresponden al espesor y a la luz del arco mayor, si tiene varios:

PUENTE	ESPESOR DE LA BÓVEDA (E)	LUZ (L)	RATIO "E/L"
P. Ribeira do Forno	0,70	9,50	1/ 13,6
P. de Chaves	0,85	6,25	1/ 7,4
S.Lorenzo	0,70	4,40	1/ 6,3
Ponte de Pedra	0,70	9,45	1/ 13,5
P. de S. Miguel	0,70	8,00	1/ 11,4
P.Lima	0,65	11,54	1/ 17,8
P.Arquinho	0,55	7,36	1/ 13,4
P. Vila Formosa	1,05	8,97	1/ 8,50
P. Bibeí	0,90	18,60	1/ 20,7
P. Freixo	0,70	7,78	1/ 11,1
P. Pedriña	1,00	14,70	1/ 14,7
P. de Salamanca	1,00	10,10	1/ 10,0

102 Gauthey, M: " *Traité de la construction des ponts*". Publicado por M Navier. Mons, 1843. Tomo I, p. 193 y 194).

ANCHOS DE BÓVEDA DE PUENTES ROMANOS



PUENTE	ESPESOR DE LA BÓVEDA (E)	LUZ (L)	RATIO "E/L"
P. de Mérida (T.I)	0,90	10,05	1/ 11,1
P. de Mérida (T.III)	0,90	7,25	1/ 8,1
P.Alconetar	1,25	7,40	1/ 5,9
P.Alcántara	1,65	28,80	1/ 17,5
P. del Segura	1,00	10,50	1/ 10,5
P. Villa del Río	0,86	9,04	1/ 10,5
P. de Caparra	0,60	8,87	1/ 14,8
P. de Alcantarillas	1,00	8,95	1/ 9,0
P. Albarregas	0,65	5,34	1/ 8,2
Alcantarilla de Mérida	0,88 (*)	4,10	1/ 4,7
"	0,74 (**)	4,10	1/ 5,5
P.Los Pedroches	0,80	4,55	1/ 5,7
P. Viejo del Odiel	0,74 (*)	4,75	1/ 6,4
"	0,60 (**)	4,75	1/ 7,9
Alcantarillas de Cerezo de Riotirón (Burgos)	0,59	5,00	1/ 8,5
P. de Aljucén	1,05	7,59	1/ 7,2

(*) Ladrillo en clave.

(**) Ladrillo en arranques.

Algunos de los valores característicos de esta muestra son:

- Valor medio 1/ 10,7
- Desviación típica 1/ 3,9

Si excluimos de esta muestra los puentes que en realidad son alcantarillas o pontones como son las de Cerezo de Riotirón, de Mérida y de Sao Lourenço, que tienen espesores de bóveda muy grandes con relación a la luz - del orden de 1/ 5,50 a 1/ 8,3 - vemos que el espesor de la rosca oscila en valores entre 1/ 10 y 1/ 14 de la luz, el valor medio es 1/11,4 y la desviación típica 1/3,6. Los espesores más estrictos son los que poseen el Ponte Bibei que alcanza en su arco central 1/ 20 del vano y el puente de Alcántara que tiene en sus arcos mayores una relación 1/ 17.

5.1.5.- Relación entre el espesor de las pilas y las luces de los arcos contiguos.

Esta relación establece la proporción del espesor de las pilas con respecto a las luces de las bóvedas contiguas, y nos da una primera aproximación de la macicez de la construcción y del funcionamiento estructural. Para los puentes romanos de *Hispania* estas relaciones son:

PUENTE	ESPESOR DE LA PILA (E)	LUCES (L)	RELACIÓN (E/L)
P. de Chaves	1,77	6,34 - 6,10	1/ 3,6 - 1/ 3,4
Ponte de Pedra	2,55	9,45 - 8,90	1/ 3,7 - 1/ 3,5
P.Lima	2,06	11,54 - 9,85	1/ 5,6 - 1/ 4,8
P. Vila Formosa	2,92	8,97 - 8,87	1/ 3,1 - 1/ 3,0
P. Bibeí	4,23	18,60 - 8,70	1/ 4,4 - 1/ 2,1
P. Freixo	2,83	4,73 - 7,78	1/ 1,7 - 1/ 2,7
P. de Salamanca	2,60	9,68 - 9,51	1/ 3,7 - 1/ 3,6
P. de Mérida (1 ^{er} tramo)	5,30	9,80 - 10,05	1/ 1,8 - 1/ 1,9
P. de Mérida (3 ^{er} tramo)	3,60	5,62 - 5,70	1/ 1,6 - 1/ 1,6
P.Alconetar	4,25	10,20 - 8,50	1/ 2,4 - 1/ 2,0
P.Alcántara	8,29	28,80 - 27,40	1/ 3,5 - 1/ 3,3
P. del Segura	2,85	8,40 - 10,50	1/ 3,0 - 1/ 3,7
P. Villa del Río	3,08	9,04 - 3,59	1/ 2,9 - 1/ 1,2
P. de Caparra	3,80	8,87 - 8,68	1/ 2,3 - 1/ 2,3
P. Alcantarillas	4,70	8,95 - 8,95	1/ 1,9 - 1/ 1,9
P. Albarregas	2,91	5,33 - 5,29	1/ 1,8 - 1/ 1,8
P. de Aljucén	3,20	7,59 - 7,55	1/ 2,4 - 1/ 2,4

- Valor medio 1/ 2,8
- Desviación típica 1/ 1,0

Si se analiza esta relación en algunos de los puentes más importantes conservados en Italia y Francia, tomando parte de los datos que nos interesan de la obra de Galliazzo y el resto de nuestras propias mediciones, obtenemos:

PUENTE	ESPESOR DE LA PILA (E)	LUCES (L)	RELACIÓN E/L
Ponte Milvio (I)	7,24	18,55	1/ 2,60
Ponte Fabricio (I)	10,80	23,60	1/ 2,20
Ponte Elio (I)	7,35	18,40	1/ 2,50
Ponte Nona (I)	2,60	7,10	1/ 2,70
Ponte Apollosa (I)	2,50	9,00	1/ 3,60
Ponte delle Chianche (I)	4,50	11,70	1/ 2,60
Ponte Ladrone (I)	5,45	14,00	1/ 2,60
Ponte de Augusto-Rimini (I)	4,35	10,70	1/ 2,50
Ponte sul Rubicone(I)	2,40	6,50	1/ 2,70
Ponte di Cecco (I)	5,00	14,50	1/ 2,90
Ponte de Augusto-Narni (I)	10,00	32,10	1/ 3,20
Ponte Caldaro (I)	3,60	9,00	1/ 2,50
Ponte Corvo (I)	1,58	11,00 (rebajado)	1/ 7,00

PUENTE	ESPESOR DE LA PILA (E)	LUCES (L)	RELACIÓN E/L
Ponte S.Lorenzo (I)	1,77	14,55 (rebajado)	1/ 8,20
Pont Sommieres (F)	3,80	9,80	1/ 2,60
Pont Ambroix (F)	3,50	10,40	1/ 3,00
Pont Julien (F)	3,72	16,25	1/ 4,40

Con los resultados obtenidos en la muestra de puentes peninsulares parece deducirse que los puentes más macizos, que según algún autor es una buena característica para su datación, tienen una relación que oscila entre 1/1,8 y 1/ 2,0. Como se ve esta relación tan alta, está presente en el puente de Mérida, el Albarregas y el de Alcantarillas. Todos ellos fueron construidos en la primera época de la conquista, en tiempos de Augusto o de Tiberio, y este hecho parece que confirma la hipótesis de que los más antiguos son los más macizos. Es posible que así sea en España, pero cuando ampliamos la muestra con otros puentes del Imperio de época republicana como el puente de San Lorenzo en la ciudad italiana de Padua, con un valor de 1/8,20 bastante bajo, las conclusiones ya no son las mismas.

Podemos, por tanto, pensar que en los territorios conquistados los puentes macizos corresponden a obras tempranas del Imperio, muy estables pero con una reducida capacidad de desagüe que seguramente era un condicionante de segundo rango. Con ello trataron de asegurar el paso sobre los irregulares ríos hispánicos en las primeras fases de la conquista y ocupación de los nuevos territorios. Pasado este primer tiempo y ya dentro de la *pax romana*, a partir de Trajano, con nuevas y más completas experiencias, se diseñaron los puentes con una mayor esbeltez, como son el Bibei (1/4,4) y el de Alcántara (1/3,6).

5.1.6.- Relación entre el vano total (Σ lucos) y la longitud del puente entre estribos.

Con esta relación, más intuitiva que científica, se ha intentado analizar si esta sencilla relación, entre el hueco total (suma de las luces de todas las bóvedas) y el total del puente entre estribos (hueco total+espesores de todas las pilas) pudiera haberse empleado como norma de diseño al tratarse de una proporción sencilla. No podemos extraer de ella nada que esté relacionado con la capacidad de desagüe de los puentes, pues los caudales evacuados dependen de la sección y de la velocidad del agua y, por supuesto, no de la longitud del hueco total. Con este sencillo propósito hemos analizado esta relación para los puentes de *Hispania*, considerando como la longitud del puente L, la distancia entre los estribos. Expresaremos la relación en tanto por ciento ya que de este modo resulta más ilustrativo pues nos da la abertura total en porcentaje de la longitud del puente:

PUENTE	Σ LUCES (A)	LONGITUD (L)	RELACIÓN A/ L(%)
Ponte de Chaves	56,10	79,90	70
Ponte de Pedra	53,70	66,40	81
Ponte de Lima (tramo romano)	44,20	53,30	71

PUENTE	Σ LUCES (A)	LONGITUD (L)	RELACIÓN A/ L(%)
Ponte Pedriña	17,80	25,20	71
Puente de Mérida (1 ^{er} tramo)	82,50	128,60	64
Ponte de Vila Formosa	53,10	68,10	78
Ponte Bibei	33,30	42,00	79
Ponte Freixo	25,00	34,20	73
Puente de Salamanca	144,87	186,22	78
Puente de Mérida (1 ^{er} tramo)	82,50	128,60	64
Puente de Mérida (3 ^{er} tramo)	121,60	200,85	61
Puente de Aljucén	33,55	49,09	68
Puente Alconetar	182,00	278,00	65
Puente Alcántara	129,83	165,70	78
Puente de Segura	43,50	55,15	79
Puente de Villa del Río	20,07	27,63	73
Puente de Alcantarillas	17,90	22,60	79
Puente de Albarregas	21,22	30,75	69
Puente de Lugo (hipótesis)	74,20	106,40	70
Ponte de Ourense (hipótesis)	134,40	187,60	72
Ponte Cigarrosa (hipótesis)	55,00	77,12	71
Puente del Diablo (hipótesis)	48,00	58,00	83

A la vista de los resultados se observa que esta relación oscila poco en la muestra de puentes elegida, la mayor de los puentes conservados es la que posee el Ponte de Pedra en torno al 81 %, y la menor del 61 % en el tramo III del puente de Mérida. Mediante la estadística se saca algún resultado más:

$$n = 22 \text{ puentes}$$

$$Pr_m = 72,64 \%$$

$$\sigma = 6,08 \%$$

Si eliminamos de la muestra las cuatro últimas obras, ya que se trata de reconstrucciones hipotéticas de los puentes originales, los anteriores valores no cambian mucho:

$$n = 18 \text{ puentes}$$

$$Pr_m = 72,33 \%$$

$$\sigma = 6,22 \%$$

Los valores de la desviación típica son pequeños por lo que la dispersión es también pequeña.

Las diferentes probabilidades en este caso son las siguientes:

1. Mayor del 80 %:

$$F(u) = P(Pr < 80) = F((80 - 72,33) / 6,22) = F(1,23) = 0,1872$$

o sea que la probabilidad de que un puente de *Hispania* tenga una relación A/L superior al 80% es el 18,7 % aproximadamente.

2. Mayor del 70 %:

$$F(u) = P(Pr < 70) = F(-0,37) = 1 - F(0,37) = 1 - 0,3725 = 0,6275$$

Donde la probabilidad estudiada pasa a ser del 62,8 % aproximadamente, esto es, que la suma de sus luces sea el 62,8 % de la longitud entre estribos.

3. Mayor del 60 %.

$$F(u) = P(Pr < 60) = F(-1,98) = 1 - F(1,98) = 1 - 0,055 = 0,945$$

Donde la probabilidad estudiada pasa a ser casi del 95 % aproximadamente, esto es, que la suma de sus luces sea el 65 % de la longitud entre estribos.

5.1.7.- Presencia de almohadillado.

Lugli ha sistematizado los tipos de almohadillado de las fábricas romanas (Lugli, 1957, tomo I, p. 208 y ss.), forma de labra muy característica de la construcción de esa época. El gusto por este tipo de sillería quizá la copiaron de los griegos que dieron este acabado a bastantes obras,



Presencia de almohadillado en la arquitectura griega de época helenística (J.P. Adam).

generalmente de tipo militar (Adam, J.P., 1982), construidas a partir de la victoria de Tebas sobre Esparta en el 373 a.C. hasta la llamada época helenística, que comienza después de la muerte de Alejandro. Las técnicas de construcción desarrollados en este tipo de edificaciones defensivas fueron eficaces y económicas, ya que los muros no se construyeron de sillería maciza, sino con dos muros de sillería, rigidizados por grapas de hierro emplomadas (Adam, 1982, p. 35) y un relleno de piedras, cascajo y, a veces, arcilla, que formaba el denominado *emplecton*, que según Vitrubio era una "... estructura (que) no siendo a piedra perdida sino arreglada, podrá eternizar la fábrica sin vicio". La cara exterior de esta sillería tenía un notorio y abultado almohadillado simplemente tallado a martillo.

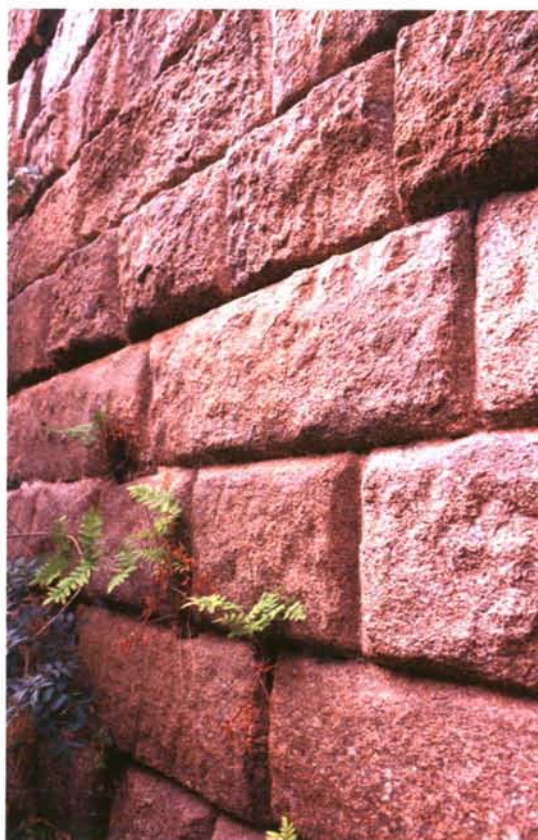
Estas obras griegas presentaban los diferentes tipos de almohadillado que después están presentes en la edificación romana. Su origen se debe, muy probablemente, a un motivo económico pero posteriormente, fue el gusto

por esta particular estética y la idea de dar una sensación de mayor robustez, los que motivaron su empleo. Por esta sensación de robustez los almohadillados más notorios, más sobresalientes, los dispusieron generalmente en la parte inferior de las construcciones, como se ve en las pilas de Alconetar y en el puente-acueducto de las Ferreras construido para el abastecimiento de la antigua *Tarraco*.

En los puentes el almohadillado está presente en los paramentos de pilas, estribos y tímpanos y en las boquillas de los arcos, imitando la roca natural, sin simetría ni regularidad, que le proporciona un efecto estetico de luces y sombras, quizá perseguido por su constructor.



Almohadillados muy bastos en la parte inferior del puente acueducto de Las Ferreras (Tarragona).



Bello almohadillado del Ponte Bibei.

Lugli menciona varios tipos, algunos de los cuales se hallan en los puentes de *Hispania*. El primero es el que denomina tipo (a), el más sencillo y uno de los más asiduos en las construcciones romanas, pues se trata de un almohadillado rústico sin labra y sin aristones o *anathirosys*, franjas labradas a cincel en sus bordes, por lo que ocupa toda la superficie exterior del sillar. El tipo (b) tiene una superficie ligeramente abombada, labrada y sin márgenes. El tipo (c) no se ha hallado en ningún puente; consiste en almohadillado plano con bordes cincelados rehundidos con *anathyrosis*. Era un modelo muy utilizado en los grandes monumentos griegos de donde lo copiaron los romanos. El tipo (d) está definido por una superficie plana con bordes achaflanados, viéndose en el puente Narni uno de los mejores ejemplos. El más abundante en los puentes de *Hispania* es el tipo (e); consiste en un

almohadillado con superficie rústica, sin labra o con poca labra, con márgenes cincelados o apiconados. El último tipo (f), es una mezcla del tipo (e) con el (d), es decir, tiene una superficie rústica con márgenes labrados y achaflanados.

Si se analizan los tipos de almohadillado de los puentes de *Gallaecia* y del resto de *Hispania*, vemos que el tipo más abundante es el (e), es decir el modelo de almohadillado con superficie rústica o poco labrada con bordes labrados, pudiendo extenderse por todo el borde o solo por una parte. Es muy frecuente que los almohadillados presentes en los puentes no sean uniformes y respondan a dos modelos, generalmente el (a) y el (e), e incluso los de este último tipo tengan los encintados labrados extendidos a uno o varios bordes. La relación de los diferentes tipos de almohadillado de los puentes peninsulares son los siguientes:

PUENTE	TIPO DE ALMOHADILLADO (SEGÚN LUGLI)
1 Ponte de Chaves	(a) y (e)
2 Alcantarilla de Sao Lourenço	(e)
3 Ponte de Pedra	(a) y (e)
4 Ponte de Lima	(e)
5 Ponte da Ribeira do Forno	(e)
6 Ponte San Miguel	(a) y (e)
7 Ponte do Arquinho	(b)
8 Ponte de Vila Formosa	(a)
9 Ponte Bibei	(a) y (d)
10 Ponte Freixo	(a) y (b)
11 Ponte Pedriña	(a) (?)
12 Ponte Navea	(a) y (b)
13 Ponte Cigarrosa	(a)
14 Ponte de Lugo	(b)
15 Ponte de Baños de Molgas	(a)
16 Puente de Ourense	(e)
17 Puente de Salamanca	(e)
18 Puente de Mérida (1 ^{er} tramo)	(e)
19 Puente de Mérida (3 ^{er} tramo)	(a) y (e)
20 Alcantarilla de Mérida	(a) y (e)
21 Puente Alconetar	(e)
22 Puente Alcántara	(e)
23 Puente de Segura	(e)
24 Puente de Villa del Río	(e)
25 Puente de Alcantarilla	(e)
26 Puente Albarregas	(e)
27 Puente de Martorell	(e)
28 Alcantarillas de Cerezo de Riotirón	(b)

La primera conclusión que sacamos es que muchos puentes de *Hispania* fueron construidos con sillería almohadillada de los tipos (a) y (e) mencionados. Los menos abundantes son del tipo (b). En *Gallaecia* los tipos (a) y (b) responden a un mismo tipo de almohadillado, que se caracteriza por tener la cara exterior desbastada y por carecer del encintado labrado por alguno o por todos los bordes de los sillares, que imprime a las obras una aspecto rústico, robusto y de cierto primitivismo.



Boceles en algunas dovelas del tramo III del puente de Mérida



Diferente almohadillado según se va ascendiendo en una pila del puente de Alconetar.

Generalmente la sillería presenta dos acabados exteriores labrado o con almohadillado; en contadas ocasiones presenta bordes resaltados o boceles, como se ven en el intradós de algunos arcos de los puentes de Mérida (Tramo III) y Velho de Vila Formosa, y algunas protuberancias, más o menos salientes, que tienen algunas bóvedas en su intradós, también en el tramo III del puente de Mérida. No creo que hallan servido para el izado de las piezas, finalidad que tuvieron, claramente, en otros casos donde estos resaltes han servido para tal menester. (Adam, J.P, 1984, p. 52), sino que se trata de un almohadillado con bordes labrados muy anchos.

En las pilas conservadas del puente de Alconetar se ven varios tipos de almohadillado, desde el más rústico sin bordes labrados, que se halla en las hiladas

inferiores hasta los mechinales en cuña para apoyo de las cimbras, y otro con bordes labrados relativamente anchos en las hiladas intermedias, muy resaltados a modo de unas pronunciadas protuberancias. La hilada superior que está en contacto con la primera cornisa que rodea el cuerpo de las pilas ya no tiene almohadillado.

5.1.8.- Hiladas alternas a sogá y tizón.

La alternancia de sillares puestos a sogá y a tizón en la misma hilada o la de hiladas con piezas a sogá y a tizón tiene también precedentes en la construcción griega como se observa en el Ágora de Atenas. Quizá la segunda de esas disposiciones tenga su precedente en las construcciones realizadas con troncos o rollos de madera dispuestos cruzados en capas alternas para obtener una buena trabazón, generalmente empleados en la defensa de campamentos y en los asedios de ciudades que les permitían cruzar fosos o hacer sólidas rampas, como se observa en algunos relieves de la Columna Trajana.

Ejemplos tempranos del primer aparejo se hallan en los paramentos de la muralla de Selinonte (Adam, 1982, p. 35) o en la de Heraclea (Adam, 1982, p. 56), que se empleó poco en la construcción romana tanto republicano como imperial. En las fábricas de los puentes hispanos sólo hemos detectado su existencia en el puente de Albarregas.



Alternancia de piezas a sogá y a tizón en una misma hilada del puente de Albarregas.

La segunda disposición es mucho más frecuente en la construcción romana, y ya se encuentra en obras muy antiguas, como la muralla Serviana de Roma (atribuida su construcción al rey Servius Tullius) construida entre el 378 y el 352 a.C. (García Bellido, 1979, p. 25), en las murallas de Falerii Novi, construida ya por los romanos en el año 240 a.C. (Lugli, 1957, tomo II, tab. XLIII. Adam, 1984, p.119) y en los muros del viaducto de Ponte Picchiato en la Vía Flaminia contemporáneos de la primera construcción del camino en el 220 a.C. (Ballance, 1951, p. 88) (Gazzola, 1953, tomo II, p. 31).



Hiladas alternas a soga y tizón en la sillería de la murallas de Falerii Novi.

muy claro de esta preocupación se observa en las pilas y estribos de Ponte Freixo, pues sus constructores adoptaron en él dos modos de trabar la fábrica. Tanto en la pila central como en los dos estribos se empleó un sillar estándar de 1x1x3 pies dispuesto en hiladas alternas a soga y tizón que formaban una pared de 3 pies de espesor, cuyo interior está relleno de tierra y piedras, el *emplecton* vitrubiano. Las pilas intermedias están construidas con sillería maciza, trabada con grapas de madera.

Dada la frecuencia de la presencia de hiladas alternas de sillares a soga y tizón en los puentes conservados de *Hispania*, nos ha impulsado a analizar esta característica por si fuera de interés en nuestro propósito de sistematización de

Esta alternancia, denominada “el sistema romano” por Lugli por la frecuencia con la que se encuentra esta modalidad de aparejar el *opus cvadrum* (Lugli, 1957, p. 175 y ss.), también fue muy utilizada en la ejecución de las fábricas de los puentes. Ha sido considerada como una característica que identificaba las obras construidas antes de Augusto, pero su presencia en puentes claramente contruidos en fechas posteriores, invalidan esa opinión (Ballance, 1951, p. 95). Tenía por finalidad trabar bien las fábricas sobre todo en las zonas bajas sometidas a mayores esfuerzos. En los puentes la vemos sobre todo en los cuerpos de las pilas, por debajo de los arranques de las bóvedas, y en los estribos. Un ejemplo



Fábrica aparejada con un sillar estándar colocado a soga y tizón en hiladas alternas en el Ponte Freixo (Ourense).

los puentes romanos de esta zona del imperio. A continuación se relacionan las obras que conservan en las fábricas la presencia de hiladas alternas a saga y tizón:

PRESENCIA HILADAS ALTERNAS		
PUENTE	A SOGA Y TIZÓN	PROPORCIÓN TIZÓNxSOGA
1 Ponte de Chaves	No	--
2 Alcantarilla de Sao Lourenço	No	--
3 Ponte de Pedra	No	--
4 Ponte de Lima	No	--
5 Ponte da Ribeira do Forno	Si	1 x 3,5
6 Ponte San Miguel	Si	1 x 2,0
7 Ponte do Arquinho	Si	1 x 1,5
8 Ponte Bibeí	Si	1 x 2,0
9 Ponte Freixo	Si	1 x 3,0
10 Ponte Navea	Si	1 x 3,0
11 Ponte Cigarrosa	Si	1 x 2,0
12 Ponte de Lugo	Si	1 x 2,0
13 Puente de Salamanca	Si	1 x 1,5 y 1 x 2,0
14 Puente de Mérida	Si	--
15 Alcantarilla de Mérida	No	--
16 Puente Alconetar	Si	1 x 2,0
17 Puente Alcántara	Si	1 x 3,0
18 Puente de Segura	Si	1 x 1,5 y 1 x 2,5
19 Puente de Caparra	No	--
20 Puente de Villa del Río	No	--
21 Puente de Alcantarillas	Si (visibles antes de 1950)	--
22 Puente Albarregas	Si	1 x 2,0
23 Ponte Velha de Vila Formosa	Si	1 x 2,0
24 Alcantarillas de Cerezo de Riotirón	No	--

Analizando los resultados obtenidos vemos que de los 24 puentes de la muestra, dieciséis (16) tienen hiladas alternas a saga y tizón, que representa un 66,7 %.

5.1.9.- La rasante de la plataforma

Se analizan a continuación esta característica formal de los puentes romanos de *Hispania* que, desde nuestro punto de vista, también nos puede ayudar a la citada sistematización, necesaria para identificarlos con una determinada probabilidad. En este caso sólo hemos tenido en cuenta aquellas obras que conservan su forma original, rechazando los que tienen alterado su perfil original romano, como la Ponte Vella de Ourense, por razones obvias:

PUENTE	RASANTE HORIZONTAL	LIGERA DOBLE PENDIENTE
1 Ponte de Chaves	Si	--
2 Ponte de Pedra	Si	--
3 Ponte de Lima	--	Si
4 Ponte do Arquinho	Si	--
5 Ponte Bibei	Si	--
6 Ponte Freixo	Si	--
7 Ponte Pedriña	Si	--
8 Puente de Salamanca	Si	--
9 Puente de Mérida	--	Si
10 Alcantarilla de Mérida	Si	--
11 Puente Alconetar	Si	--
12 Puente Alcántara	--	Si (Hasta el siglo XIX)
13 Puente de Segura	Si	--
14 Puente de Caparra	Si	--
15 Puente de Villa del Río	--	Si
16 Puente de Alcantarillas	Si	--
17 Puente Albarregas	Si	--
18 Alcantarillas de Cerezo de Riotirón	Si	--
19 Ponte de Vila Formosa	Si	--
20 Puente de Villa del Río	--	Si

De los 20 puentes analizados, cinco de ellos tienen la rasante de la plataforma con una ligera doble pendiente, mucho menos pronunciada que en las obras medievales. El porcentaje de los que tienen la rasante de la calzada horizontal es el 75 % de todos ellos. Si incluyésemos en esa lista las posibles rasantes horizontales que originalmente tuvieron los puentes romanos de Ourense y Lugo, de A Cigarrosa, Ponte Navea, Martorell, San Miguel y Los Pedroches el porcentaje subiría hasta el 81 %.

5.1.10.- El espesor de las bóvedas.

La uniformidad del espesor de las bóvedas en todo su desarrollo y en todo su ancho, también es un aspecto constructivo que hemos incluido en el conjunto de características que forman la base del estudio de sistematización realizado. Tenemos la impresión de que esta uniformidad del tamaño o altura de las dovelas, en gran parte del desarrollo de las boquillas de muchos puentes hispanos, puede servirnos en nuestro propósito sobre todo si la comparamos con la de los puentes medievales cuya irregularidad es manifiesta. Para este análisis solo se ha considerado la uniformidad (con una cierta tolerancia) del espesor de la rosca o boquilla, ya que la uniformidad en el ancho de la bóveda nos es desconocida en la mayoría de los puentes romanos de *Hispania*, bien es cierto que, en los casos donde se ha visto o se puede ver, el espesor es constante. La tolerancia anunciada se refiere a que, en sentido estricto, una uniformidad exacta no existe, pero la hemos aceptado como uniforme si la altura de las dovelas está en un entorno del +/- 10% de su tamaño medio, y si esa uniformidad está presente en la mayor parte del desarrollo de la boquilla, pues hay algún caso que alguna

dovela es diferente en tamaño al resto (p.e. en la zona de riñones de los puentes de Chaves, Alcantarillas, Caparra y Mérida). En algunos casos la falta de uniformidad se debe a malas reconstrucciones como la que presenta el arco izquierdo del Ponte Bibei o a relabrados más o menos recientes llevados a cabo para mejor asiento de los sillares de los tímpanos como se hizo en 1961 en la parte romana de Ponte de Lima.

PUENTE	UNIFORMIDAD DOVELAS BOQUILLAS
1 Ponte de Chaves	Si
2 Alcantarilla de Sao Lourenço	Si
3 Ponte de Pedra	Si
4 Ponte de Lima	Si
5 Ponte do Arquinho	Si
6 Ponte Bibei	Si
7 Ponte Freixo	Si
8 Puente de Salamanca	Si
9 Puente de Mérida	Si
10 Alcantarilla de Mérida	No
11 Puente Alconetar	Si
12 Puente Alcántara	Si
13 Puente de Segura	Si
14 Puente de Caparra	Si
15 Puente de Villa del Río	Si
16 Puente de Alcantarillas	Si
17 Puente Albarregas	Si
18 Puente de Vila Formosa	Si
19 Alcantarillas de Cerezo de Riotirón	Si
20 Puente de los Pedroches	Si (bóvedas conservadas)

De esta muestra de 20 puentes tienen la uniformidad comentada 19 de ellos, que da un porcentaje muy alto, del 95%.

5.1.11.- Presencia de agujeros de pinzas.

La realización de unos pequeños agujeros en las caras de los sillares, más o menos centrados, se hacían para encajar los dientes de las pinzas metálicas, *ferrei forfices*, usadas para el izado de las piezas (Adam, 1996, pp. 52 y ss.). Su presencia ha sido considerada como una característica que permitía identificar las fábricas que las tenían como romanas. Como podemos apreciar a continuación, su presencia se ha constatado en muchos puentes de *Hispania*, pero también en otros que fueron construidos con posterioridad, ya que el uso de tales zarpas o pinzas ha llegado hasta nuestros días.



*Tenazas (similares a los romanos) empleadas en una obra actual
(Intervención en el puente Loña en Ourense).*

Dos ejemplos de esto que decimos es el puente que el obispo Pedro Tenorio mandó construir en 1383 en la localidad toledana de Puente del Arzobispo, que presenta en sus paramentos un gran número de agujeros de pinzas para los *ferrei forfices* ejecutados en dovelas y sillares, (Chias, Abad, 1994, pp. 112-115) y la reconstrucción parcial del puente de Segura realizada en 1571, en la que los sillares utilizados tienen agujeros para pinzas, análogos a los que presentan los sillares romanos conservados, uno de los motivos (además de la imitación del almohadillado romano) por lo que esta refección ha pasado desapercibida en los estudios que del puente se han realizado hasta la fecha (Durán, 1996, p. 174 y 175).



*Agujeros para izado con tenazas en sillares y dovelas del puente de Pedro
Tenorio (S.XIV) de Puente del Arzobispo en Toledo*

A continuación relacionamos los puentes de *Hispania* en los que hemos visto agujeros para pinzas:

PUENTE	PRESENCIA DE AGUJEROS PARA PINZAS
1 Ponte de Chaves	Si
2 Alcantarilla de Sao Lourenço	No
3 Ponte de Pedra	Si
4 Ponte de Lima	Si
5 Ponte do Arquinho	Si
6 Ponte da Ribeira do Forno	No
7 Ponte San Miguel	No
6 Ponte Bibei	No
7 Ponte Freixo	No
8 Ponte Navea (cimientos estribos)	Si (escasos)
9 Ponte Cigarrosa (cimientos pilas)	Si (muy escasos)
10 Ponte de Lugo (restos cimientos pilas)	No
11 Ponte de Baños de Molgas (restos cimientos)	No
10 Puente de Salamanca	Si
10 Puente de Mérida	Si
11 Alcantarilla de Mérida	No
12 Puente Alconetar	Si
13 Puente Alcántara	Si
14 Puente de Segura	Si
15 Puente de Caparra	Si
16 Puente de Villa del Río	No
17 Puente de Alcantarillas	No
18 Puente Albarregas	Si
19 Puente de Vila Formosa	Si
20 Alcantarillas de Cerezo de Riotirón	No
21 Puente de los Pedroches	No

Del total de 21 puentes hemos observado la presencia, más o menos numerosa, en 14 de ellos, que da un porcentaje del 67%.

5.2.- Análisis de las obras construidas en *Hispania* (excluida *Gallaecia*)

Como preámbulo del estudio pormenorizado que realizaremos de los puentes romanos de *Gallaecia*, se ha analizado la fábrica de los puentes conservados en el resto de la antigua *Hispania* romana. No se trata de un análisis exhaustivo ni se ha recogido todo lo publicado sobre ellos, sino que hemos intentado reflejar la "lectura" que hemos realizado de las fábricas y la interpretación que del puente se ha hecho desde el punto de vista de la composición formal, constructivo e histórico. Como ya decíamos en el prefacio, consideramos que nuestra

aportación más interesante se basa precisamente en estas interpretaciones, lecturas y análisis del puente como obra de ingeniería, no como obra histórica o como hecho arqueológico, tratando de "leer" el único documento que de ella se conserva: el propio puente.

Somos conscientes de que la relación de puentes romanos de *Hispania* que a continuación se expone puede ser ampliada en el futuro, pues es posible que aparezcan, más puentes de origen romano, quizá no muy monumentales pero de por sí importantes por su gran carga histórica. Esta posibilidad es relativamente grande, ya que son unas obras con perfiles constructivos difusos, prácticamente desconocidos, con frecuencia mal datados, que tienen pendiente una sistematización que ayude a analizarlos con una cierta fiabilidad. Y que a pesar de los inventarios de puentes realizados, quedan todavía bastantes zonas por catalogar.

Sobre la aparición de auténticos puentes romanos todavía no estudiados y desconocidos fuera de un determinado ámbito geográfico, tenemos la experiencia de un puente romano de *Gallaecia*, el Ponte do Arquinho, del que tuvimos noticias en 1999 y que inmediatamente medimos, cartografiamos y estudiamos para incluirlo en esta tesis. Que nosotros sepamos no se ha publicado nada sobre él, apenas es citado en algunas publicaciones turísticas de la zona y ni tan siquiera lo incluyen los últimos trabajos publicados, como el libro "Pontes romanas de Portugal" (1999). Lo mismo nos ha pasado con las alcantarillas de Cerezo de Riotirón, de cuya existencia tuvimos noticias en el año 2000 por unos trabajos de Isaac Moreno Gallo y que también, después de medirlas y estudiarlas, las hemos incluido¹⁰³.

La relación de puentes romanos, que a continuación exponemos, son los siguientes:

- Puente de Salamanca
- Puente de Segura
- Puente de Alcántara
- Puente de Mérida
- Puente del Albarregas, en Mérida
- Alcantarilla de Mérida
- Puente de Alconetar
- Puente de Caparra
- Puente de Alcantarillas en Sevilla.
- Puente de Villa del Río en Córdoba
- Puente de Los Pedroches
- Ponte Velha de Vila Formosa en Alter do Chao (Portugal).
- Alcantarillas de Cerezo de Riotirón
- Puente del Diablo de Martorell
- Puente de Aljucen (actualmente desaparecido)
- Puentes de Mérida y de Alcántara

5.2.1.- EL puente Romano o Mayor de Salamanca.

El puente romano de Salamanca se construyó sobre el río Tormes en las proximidades de la mansión *Salmantica* de la ruta *Emerita-Ocelo Duri*, que formaba parte de la Vía de la Plata que unía la ciudad de *Emerita Augusta* con la ciudad de *Asturica Augusta*, no incluida como tal

¹⁰³ Moreno Gallo, I.: "Vía Romana de Italia a Hispania en Burgos y Palencia". CD Junta de Castilla y León. Burgos, 1999.

en el Itinerario de Antonino sino formando parte de dos caminos diferentes que se dirigían hacia *Caesaraugusta*¹⁰⁴.

Este camino es la transformación en época alto-imperial de un antiguo camino norte-sur, quizá muy usado en épocas preromanas por los comerciantes del estaño y otros metales. El tramo de *Emerita Augusta* a *Salmantica*, muy bien definido sobre el terreno, con tramos en buen estado y bastantes miliarios conservados en sus márgenes, y con un cumplimiento ajustado a las distancias señaladas en el Itinerario, si consideramos para la milla romana un valor métrico de 1.480 m. Afortunadamente la carretera actual sólo ocupó parcial y puntualmente su traza¹⁰⁵.

Desde antiguo se atribuye su construcción a Trajano, como casi todos los puentes importantes de España, quizá por el hecho de que este emperador nació en *Hispania* y que tiene fama de haber sido un gran impulsor de las obras públicas imperiales.

Uno de los primeros cronistas del puente es Gil González de Ávila del siglo XVII¹⁰⁶, el cual opinaba que "... una de las grandezas que tiene Salamanca, y de las mayores la mayor, es el famoso edificio de la puente, de los más insignes que tiene España: fundado sobre veinte y siete arcos por donde pasa sus aguas el río Tormes". Le da una longitud de quinientos pasos y doce de ancho, que en metros, teniendo en cuenta el valor tradicional del paso en Castilla de 1,393 m (cinco pies castellanos de 0,278 m), equivale a un largo de 696 m y una anchura de 16,72 m, mucho más grandes que sus medidas reales. Quizá lo midió a pasos y consideró el paso como la distancia entre el talón de un pie y la punta del otro de una persona media (aproximadamente 0,80 m). Si fuese así las medidas serían: longitud 400 m y la anchura 9,60 m, medidas todavía grandes pero más próximas a la realidad (343 m y 7,27 m). Nos dice que "... lo más alto desta puente (está) adornado de almenas de cantería tosca, que de lexos ofrece a los ojos una agradable vista". Todos los escritores posteriores que escribieron del puente, como Bernardo Dorado (1766), Antonio Ponz (1779-92), Juan Agustín Ceán Bermúdez (1832), Carlos Espinosa (1878), Pascual Madoz (1845) o J. M. Quadrado (1884) copian los pocos datos proporcionados por González de Ávila. Es González de la Llana (1869) el que da las medidas más ajustadas del puente, de 423 varas de longitud y 8 y tres cuartas de latitud, que convertidas a metros (1 vara castellana = 0.836 metros) son 353 m (5,40 m menos que los medidos por nosotros) y en 7,31 m (prácticamente igual a la obtenida en nuestra medición).

Al parecer tuvo una torre, el Castillejo o Castillete, en el centro del puente, construida a la vez que el almenado, que desaparecieron, según Quadrado, unos años antes de 1884, "a la voz de un ingeniero, con indignación de los artistas y disgusto de los mismos indiferentes".

El toro de piedra o verraco que cita González de Ávila, se hallaba a la entrada del puente, y se menciona en "La vida del Lazarillo de Tormes y de sus fortunas y adversidades", publicado posiblemente en 1554, de autor desconocido. En su dura piedra granítica dio el ciego una gran

104 Roldán Hervás, J.M.: "Itineraria Hispana". Anejo de Hispania Antiqua. Universidades de Valladolid y Granada. 1975.

105 Morán, C.: "Antiguas vías de comunicación en Salamanca". Revista de Obras Públicas. Madrid, diciembre de 1950.

"calabazada" a Lázaro, tratando de enseñarle que "el mozo del ciego un punto ha de saber más que el diablo".

En la entrada del puente de la margen izquierda (tramo no romano) hay una inscripción partida en dos pilares que documenta una reparación realizada en 1622, reinando Felipe IV. Dice así:

"REINA(N)DO PHILIP
PE QUARTO DESTE
NOMBRE SE REEIDI
FICO ESTA PVENTE
Y SE ENLOSO Y HICI
ERON LAS CAL
ÇADAS SIENDO"

(pilar izquierdo a la entrada izquierda)

"CORREGIDOR DON
DIEGO DE PAREJA
BELARDE CAVA
LLERO DEL ABITO
DE MONTESSA
ACABOSE EL AÑO
DEL SEÑOS DE 1622"

(pilar derecho de la entrada izquierda)

El puente tiene dos tramos claramente diferenciados en la composición, formas y fábricas. La parte moderna es consecuencia de la reconstrucción de 1677, que se llevó a cabo después de la avenida de San Policarpo en 1626, ocasionando la ruina de un arco que arrastró tras de sí a los demás que fueron "... sucumbiendo uno en pos de otro hasta el centro en que hay una fuerte pilastra que sostenía una torre y que resistió el empuje de los arcos que quedaron en pie", según Cesar Morán. (Fernández Casado, 1980, s.p.).

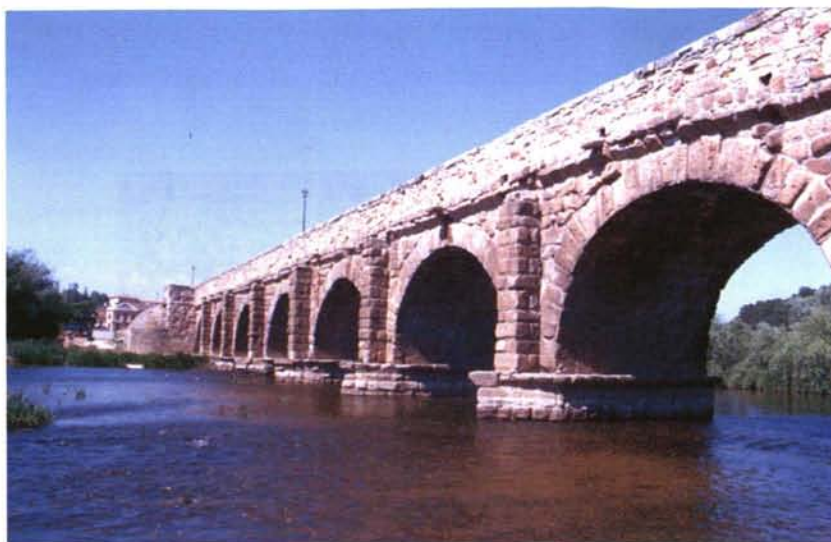
Un plano del puente muy distorsionado está incluido en la obra del ingeniero francés de la primera mitad del XIX, Émiland-Marie Gauthey, publicada por M Navier, que le atribuye unas dimensiones erróneas y desproporcionadas (Gauthey, 1843, tomo I, p. 31).

Está incluido en las obras contemporáneas más importantes que tratan sobre puentes romanos, como la de Piero Gazzola (Gazzola, 1963, pp. 134-135) y la de Vittorio Galliazzo (Galliazzo, 1995, tomo II, pp. 336-337). Este último autor dice que es uno de los puentes más equilibrados y simétricos de todo el mundo romano. Una buena recopilación de la historia del puente es la realizada recientemente por los arqueólogos Manuel C. Jiménez, Luis R. Menéndez y Margarita Prieto¹⁰⁷ en un trabajo, en el que también estudian la posible longitud del puente primitivo, cuestión que nosotros ya tratamos en una ponencia del 1er Congreso de Historia de la Construcción (Durán, 1996, p. 173), y que merece la pena tratarlo de nuevo.

El plano publicado del puente más fiable en su representación y medidas es el realizado por la Jefatura de Obras Públicas de Salamanca con ocasión de unas obras de reparación llevadas a cabo en los años cincuenta y que incluyó en su libro Carlos Fernández Casado (Fernández Casado, 1980, s.p.). Contiene la planta, el alzado aguas arriba, un detalle de las arcadas romanas y dos secciones transversales del tramo romano y del XVII. En nuestro plano hemos incluido la planta y el alzado aguas abajo del tramo romano conservado.

106 (106) González Dávila, G.: "Historia de las antigüedades de la ciudad de Salamanca (1606)". Edición facsímil. Universidad de Salamanca, 1994.

107 Jiménez, M; Menéndez, L.; Prieto M: "El Puente Romano de Salamanca en las Crónicas, las fuentes históricas y la historiografía". Revista de Estudios Salamanca, nº 44. Salamanca, 2000. Pp 193-220.



Vista parcial del alzado aguas arriba del tramo romano del puente de Salamanca

Consta, como hemos dicho, de dos tramos netamente diferenciados por las formas de sus arcos y por las diferentes fábricas: el primero, de época romana, es el más próximo a la ciudad, consta de 15 arcos contruidos a lo largo de 197,10 m de longitud; el segundo es una reconstrucción del siglo XVII, tiene 11 arcos y una longitud de 150,50 m. Están separados por una gran pila rectangular de mayor tamaño que las demás, de 12 m de espesor, sobre la que estaba la antigua torre o arco de entrada que tuvo el puente según cuentan las crónicas y permiten ver los antiguos dibujos. La longitud total del puente es de 360 m. Aproximadamente.

Nuestro interés se ha centrado en la parte romana del puente que se conserva en bastante buen estado, actualmente peatonalizado. Las luces de los arcos y el espesor de las pilas son los siguientes, enumerándolos de derecha a izquierda, hasta el gran pilar central:

Arco nº 1	9,54 m	Pila nº 1	3,00 m
Arco nº 2	9,68 m	Pila nº 2	2,85 m
Arco nº 3	9,51 m	Pila nº 3	3,00 m
Arco nº 4	9,48 m	Pila nº 4	2,90 m
Arco nº 5	9,66 m	Pila nº 5	2,90 m
Arco nº 6	9,80 m	Pila nº 6	2,80 m
Arco nº 7	9,60 m	Pila nº 7	3,50 m
Arco nº 8	9,80 m	Pila nº 8	3,60 m
Arco nº 9	9,65 m	Pila nº 9	2,60 m
Arco nº 10.....	10,10 m	Pila nº 10	2,80 m
Arco nº 11.....	9,40 m	Pila nº 11	2,80 m
Arco nº 12.....	9,80 m	Pila nº 12	3,00 m
Arco nº 13.....	9,60 m	Pila nº 13	2,80 m
Arco nº 14.....	9,75 m	Pila nº 14	2,80 m
Arco nº 15.....	9,50 m		

Comparando estas medidas con las que figuran en el plano realizado por la Jefatura de Obras Públicas, vemos que ambas mediciones coinciden aceptablemente, con pequeñas diferencias no significativas.



Cornisa del puente de Salamanca a nivel del arranque de los arcos.



Pilastra de refuerzo de los tímpanos aguas arriba del puente de Salamanca.

Las pilas fueron construidas de sillería almohadillada de granito puesta en seco, con un espesor muy uniforme que oscila entre 2,60 y 3,00 m, excepto las centrales del tramo que llegan a los 3,50 m, en cuyos paramentos se aprecian hiladas alternas de sillares a soga y tizón. Sus frentes tienen un tajamar triangular ligeramente apuntado, de poca altura, en cuyo borde y en torno a toda la pila hay una cornisa con moldura de talón, de 38 cm de altura, parecida a la que tiene el puente Velho de Vila Formosa (Portugal).

El tímpano aguas arriba está reforzado desde fuera por una pilastra, ligeramente empotrada en su paramento, de planta rectangular de 1,20 m de frente y 0,90 m de profundidad, formada por 12 hiladas de dos piezas de 1,20x0,45x0,45 m, colocadas alternativamente a soga y tizón, que remata al nivel de la segunda cornisa que marca en el alzado del puente la rasante de

la antigua calzada.

Del plano superior de la pila definido por la primera cornisa, arrancan, un poco retranqueados (10 cm), los arcos de medio punto poco deformados a pesar de los siglos transcurridos. El almohadillado de las dovelas de las boquillas, solo con borde labrado en dos aristas, no responde a ninguno de los tipos propuestos por G.Lugli, aunque tiene un cierto parecido con el modelo "c". Presentan en su cara exterior los pequeños orificios para las tenazas de suspensión (*forfices ferrei*). El espesor de las boquillas es de 1,00 m y el ancho de las bóvedas varía entre 6,50 y 6,70 m.



Detalle de la boquilla aguas arriba de un arco del puente de Salamanca

Todos los paramentos del puente, por desgracia, han sido ripiados y rejuntados con mortero de cal, posiblemente en labores de conservación realizadas por personal adscrito a los servicios de carreteras antes de la construcción del Puente Nuevo, abierto al tráfico en 1913 (Chías, Abad, 1994, p. 269). Los mechinales originales para apoyo de las cimbras se han ocultado al rellenarse con unos sillares cuyo diferente color, rojizo, permite reconocer su existencia. Hay cinco mechinales a cada lado de la bóveda y sus dimensiones son 0,45 m de altura y 0,29 m de anchura, iguales a los que tiene el Ponte Bibei, que viene a ser en medidas romanas 1,5 X 1 pies.



Detalle del tímpano del puente de Salamanca con el rejuntado y ripiado reciente.



Ocultación mediante de unas piezas de tono rojizo de los mechinales para apoyo de las cimbras en el puente de Salamanca

La rasante, después de numerosas obras de restauración, se conserva horizontal como, presumiblemente, era la original romana, que estaba a una menor cota que la actual, al nivel de la segunda cornisa que se desarrolla tangente a las claves. Esta cornisa tiene una moldura recta de chaflán inverso, parecida a la del puente de Caparra, de 50 cm de alto y 30 cm de saliente. Desconocemos como estaba pavimentada la calzada y si tenía aceras. Tampoco

conocemos como eran los pretiles originales pues los actuales proceden de alguna reconstrucción.



Fábrica reconstruida del estribo derecho del puente de Salamanca

Observando la totalidad de su fábrica, donde se aprecian las mayores reconstrucciones es en los paramentos del estribo derecho. Pudieron haber sido contruidos con una fábrica de peor calidad, como creemos que sucedió en algunos puentes de *Gallaecia*, como el Ponte Freixo y el Ponte do Arquinho, motivo por el cual son los que, en caso de riadas, sufren los daños mayores y por tanto el mayor número de reconstrucciones.



Cornisa trapezical a nivel de la antigua plataforma y pretil actual del puente de Salamanca

Las relaciones dimensionales que se están estudiando son las siguientes:

1. La relación del espesor de la rosca en boquilla con respecto a las luces mayor y menor son:

Luz mayor 1/ 10
Luz menor 1/ 9,40

2. Relación espesor pila/luz del arco contiguo:

Hemos hallado el valor mayor y el menor que, como vemos, varía relativamente poco:

Valor máximo 1/ 3,9
Valor mínimo 1/ 3,2

3. Relación Σ Luces / longitud entre estribos

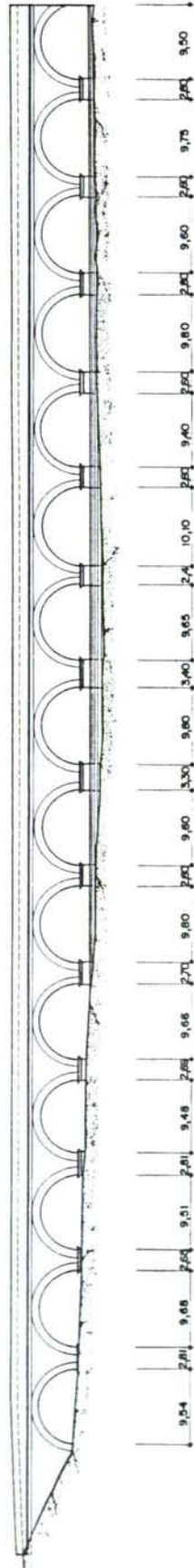
Esta proporción nos da una idea de la opacidad que el puente introduce al paso de las aguas con su construcción. En este caso es de:

Longitud hueco 144,87 m
Longitud total 186,22 m
Relación 0,78 (78%)

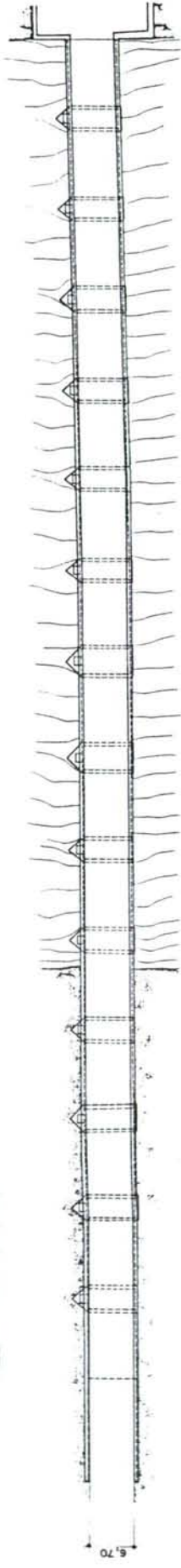


Vista del alzado aguas abajo del tramo romano del puente de Salamanca.

En cuanto a la longitud del puente original romano, la cuestión que se plantea es si el puente original romano fue sólo el tramo conservado o si fue de mayor tamaño, similar al actual. Hay opiniones para todos los gustos, desde quien opina que era igual al tramo conservado y que a éste se le fueron añadiendo arcos en una o varias reconstrucciones (Aramburu-Zabala, 1991, p.166 y 167) hasta alcanzar el tamaño actual, y quienes opinan que ya fue construido con una longitud parecida a la actual. Hace unos años realizamos un estudio con la hipótesis de que había sido construido para no ser rebasado por una avenida grande, pero pasado este tiempo y después de haber profundizado en el tema del desagüe de los puentes



ALZADO AGUAS ABAJO



PLANTA

PUENTE DE SALAMANCA



romanos¹⁰⁸, consideramos que fue posible que el primer puente romano coincidiese con el tramo conservado y que a partir de la actual gran pila central, antaño estribo, se construyese el acceso izquierdo, de mayor o menor longitud, con una rampa dotada de pequeños arcos de desagüe como el que se conserva en la orilla izquierda del puente de Mérida. Este puente era rebasado con ocasión de las grandes riadas, con los consiguientes destrozos, sobre todo en los pretilos. En 1996 escribíamos que "para dar una posible contestación a esta cuestión se ha realizado un pequeño estudio del comportamiento hidráulico del tramo romano del puente actual para una avenida del río Tormes. El nivel de la riada máxima marcado en el citado plano de la Jefatura de O.P., ya contestaba esta cuestión pues se puede apreciar la necesidad, para dar desagüe por dentro de sus arcadas a las avenidas, de que existiese un puente romano con un número de arcos similar al actual - veintiséis - pues uno más corto no tendría suficiente capacidad y se vería rebasado, con los consiguientes problemas de destrozos y derrumbes". Hemos vuelto a realizar el estudio del comportamiento hidráulico del río Tormes a su paso por el puente (sólo los quince arcos conservados), y los hemos hecho para dos avenidas, una de 800 m³/s y otra para 2.004 m³/s (la avenida para un periodo de retorno de 500 años sería del orden de 4.000 m³/s, según la fórmula de Gette para una cuenca de 7.257 Km²), que era la estimada en el estudio de 1996, empleando el programa HEC-RAS. La primera pasaba por debajo de los arcos mientras que la segunda no llegaba a rebasarlo por un metro escasamente.

Por lo tanto, si su deseo era que no fuese rebasado por una avenida importante, tuvieron que construir un puente largo. Sin embargo, como conclusión, pensamos que este condicionante no fue tenido en cuenta y que el puente original es el tramo romano conservado completado con un acceso en rampa en la orilla izquierda, en seco con aguas bajas, con pocos arcos de desagüe, bastante opaco al paso del agua, que fue lo que históricamente se llevó el río y del cual no queda ningún resto. Si se hubiese construido un segundo tramo con arquerías las grandes avenidas del río pasarían bajo los arcos y en el caso de que sufriese daños por una de ellas quedaría algún resto como ha quedado en el tramo contiguo a la ciudad el cual, como podemos comprobar, se ha conservado bastante bien.

5.2.2.- La Ponte Velha de Vila Formosa

Este espléndido puente se alza sobre el río Seda, en las proximidades de la villa portuguesa de Alter do Chao, y daba continuidad a la vía que unía *Emerita Augusta* con *Olisipo* (Lisboa). Muy bien conservado, todavía en servicio, soporta el tránsito rodado de la carretera que une las ciudades de Alter do Chao y Ponte do Sor. Según algún autor se trata de un puente construido en el siglo II (Mendes Pinto, 1998, pp. 162 y ss.), pero esta es una cuestión en la que no entramos.

108 Durán Fuentes, M: "Aportación al estudio de los puentes romanos peninsulares: análisis de la capacidad de desagüe de varios puentes de Gallaecia". *Actas del III Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Sevilla, 2000. Pp. 265-277.



Vista del alzado aguas arriba del puente Velho de Vila Formosa.

La primera noticia de este puente la da el conservador Alves Pereira del Museo Etnológico de Lisboa en un trabajo publicado en 1912 (Alves Pereira, 1912), que describe la sensación que le causó la obra: "... relelava-se-me ali com umas características tam diferentes de todos os outros (puentes) que as publicações capitulavam de romanos, que a minha admiração, imbuída dun serio respeito por esta antiguidade, me susteve imobilizado por uns momentos,

rendido à dominadora majestade desta reliquia...". Cuántas veces hemos sentido lo mismo los que amamos estas obras contemplando la gran calidad estética, técnica, la monumentalidad que por lo general tienen estas obras, su inmejorable incorporación al paisaje y su espléndida construcción.



Desaguadero abovedado que atraviesa uno de los tímpanos del Ponte Velho de Vila Formosa

La fábrica es de sillería granítica almohadillada que, por desgracia, ha sido rejuntada con mortero, posiblemente por los servicios de conservación de la carretera para impedir el enraizamiento de especies vegetales que puedan dañarlo. Alves Pereira indica la existencia de lascas de canto rodado fuertemente entalladas en las juntas, que hoy no pueden verse. En muchos sillares se ven los agujeros del *ferrei forfices* y los pequeños agujeros para el calce de las piezas en sus respectivas hiladas

apreciables en muchas juntas.

Tiene seis bóvedas de medio punto, de directriz perfectamente circular, construidas con dovelas de altura muy uniformes de 1,05 m. La estabilidad del puente a lo largo de su existencia y la gran precisión en el momento de su construcción se ha comprobado con ocasión del levantamiento topográfico realizado, pues hemos hallado que los centros hipotéticos de los arcos están a la misma cota que para los distintos arcos son las siguientes, de izquierda a derecha:

Arco nº 1	200,223 m
Arco nº 2	200,247 m
Arco nº 3	200,138 m
Arco nº 4	200,145 m
Arco nº 5	200,191 m
Arco nº 6	200,255 m

La máxima diferencia está entre el arco nº 3 y el nº 6 y es sólo de 11,7 cm, cantidad realmente pequeña para un puente que tiene una longitud de 116 metros y lleva construido dieciocho o diecinueve siglos. Sorprende también si pensamos en todos los avatares que ha pasado o pudo pasar durante todo este tiempo, tanto de tipo geotécnico (asientos en la cimentación) como hidráulicos (crecidas grandes del río Seda). O sísmicos como el terremoto de Lisboa de 1755, cuyos efectos repercutieron en toda la península Ibérica. Es indudable que este buen comportamiento de la estructura pétreo se debe a que ha sido asentada sobre un cimiento rocoso (Galliazzo, 195, tomo I, p. 314).



Vista de uno de los arcos del Ponte Velho de Vila Formosa

Según Alves Pereira hay grabada una media luna en una de las claves, confirmando la noticia que da de este hecho el afamado historiador lusitano Leite de Vasconcelos. Nosotros no la hemos visto por mucho que la buscamos. Los almohadillados de algunas dovelas, en las

boquillas, sólo tienen dos de sus bordes labradas en una faja de 3 cm, muy similar al que tiene el puente de Salamanca.



Boceles en el borde superior de la bóveda izquierda del Ponte Velho de Vila Formosa.

En el intradós de la primera bóveda de la izquierda y en las primeras hiladas sin pasar de la zona de riñones, hay dovelas con un resalte en forma de bocel en el borde superior, quizá para proteger su arista durante la manipulación, similares a las apreciadas en algunas bóvedas del tramo III del puente de Mérida. Esta protección pudo ser frecuente y si no se han visto más es porque, una vez colocadas las dovelas y rematado el arco, se eliminaban relabrando la pieza. Las anchuras de las bóvedas varían ligeramente entre 6,70 y 6,80 m

Las pilas son rectangulares, dotadas de tajamar de planta triangular en su frente, sobresaliendo sus vértices o puntas del paramento aguas arriba, 1,40 m (pila nº 1 y nº 2), 1,50 m (pila nº 5) y 1,90 m (pilas nº 3 y nº 4). El paramento aguas abajo está

en el mismo plano que los tímpanos. Estaban originalmente abrazadas en todo su contorno por una cornisa moldurada de talón o cima reversa similar a la que tiene el puente de Segura y el



Alzado aguas abajo del Ponte Velho de Vila Formosa

de Salamanca (1^{er} nivel), pero en los tajamares apenas se conserva, salvo en la pila nº 5, ya que están muy reconstruidos. Tampoco son originales sus sombreretes de remate. El cuerpo

de las pilas posee, por debajo del nivel de la cornisa, hiladas alternas de sillares dispuestos a soga y tizón, una característica que identifica, entre otras, la indudable filiación romana del puente. Tanto la cornisa como estas hiladas a soga y tizón están presentes en la fábrica de los estribos.



*Cuerpo de una pila del Ponte Velho de Vila Formosa
aparejado con hiladas alternas a soga y a tizón*

Las luces de los arcos, todas prácticamente del mismo valor, y los espesores de las pilas, desde la orilla izquierda a la derecha, son:

Arco nº 1 8,88 m	Pila nº 1 3,02 m
Arco nº 2 8,82 m	Pila nº 2 3,09 m
Arco nº 3 8,83 m	Pila nº 3 2,93 m
Arco nº 4 8,97 m	Pila nº 4 2,92 m
Arco nº 5 8,87 m	Pila nº 5 3,04 m
Arco nº 6 8,73 m	

A la vista de esta composición dimensional destacamos la afinidad tipológica entre este puente, el de Salamanca y el Ponte de Pedra (Portugal), que permite pensar que fue aplicado un mismo modelo constructivo o que fueron diseñados por técnicos con la misma formación.

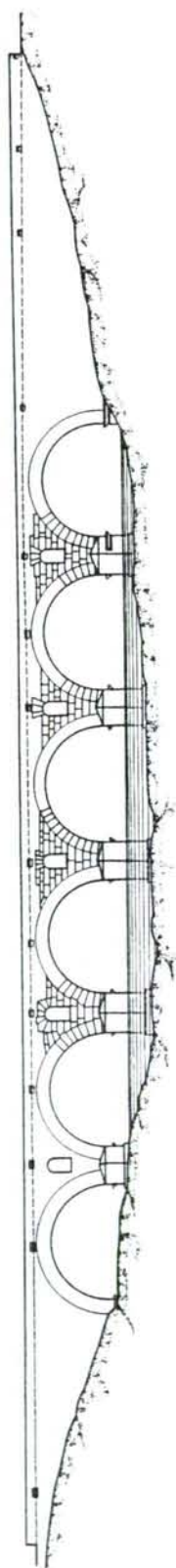
En los tímpanos están alojados unos pequeños desagüaderos de 1,12 m de luz y 1,90-2,00 m de altura, cubiertos cuatro de ellos por sendos arcos de 3 dovelas y en el restante por otro pequeño arco de 7 dovelas.



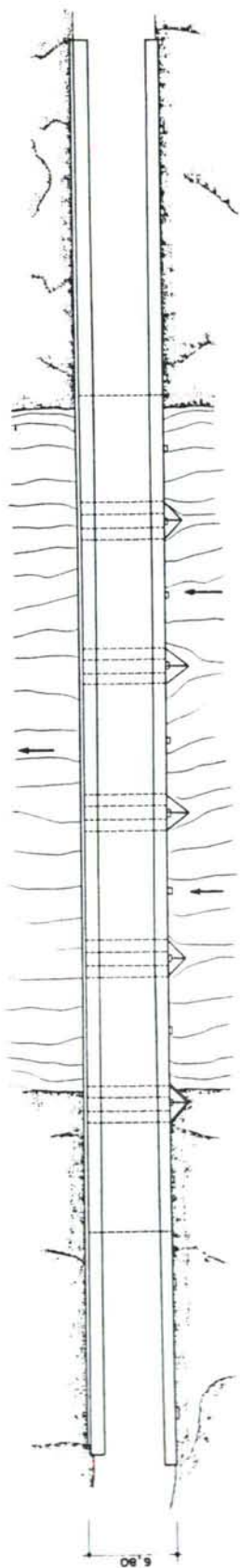
Desaguadero abovedado y tajamar triangular del Ponte Velho de Vila Formosa.

Los paramentos más reconstruidos están en los muros de acompañamiento de los estribos, como es habitual. El resto de la fábrica, salvo en zonas puntuales, es la original romana

La rasante original estaba a nivel con la cornisa superior que tangente a las claves se conserva en ambos paramentos del puente, mejor del lado aguas abajo. Tiene un pie de altura (0,29 m) y la misma moldura que la existente en el arranque de las bóvedas. La calzada actual, a un nivel superior que la antigua, tiene un ancho variable entre 4,40 y 4,70 m y está pavimentada con un enlosado de piezas rectangulares y cuadradas, ejecutado en el siglo XX como puede verse en una foto de 1912, en la que todavía tenía un antiguo pavimento de cantos rodados (Alves Pereira, 1912, s.p.). El pretil actual, que posiblemente contenga piezas originales, es de corta altura, entre 0,95 y 0,65 m, mucho más pequeña que la que tenía en 1912, que alcanzaba 1,55 m (Alves Pereira, 1912, p. 23), posiblemente acortada por la ejecución del nuevo pavimento de la calzada. Es destacable el gran ancho, entre 1,00 y 1,10 m, que como dice Alves Pereira, son tan amplias que se puede andar sin vértigo por ellos.



ALZADO AGUAS ARRIBA



PLANTA



PONTE DE VILA FORMOSA

ESCALA GRÁFICA
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Pretil de inusual anchura con moldura exterior de talón del Ponte Velho de Vila Formosa.



Calzada actual del puente Velho de Vila Formosa.

Las relaciones dimensionales calculadas son las siguientes:

1. La relación del espesor de la rosca en boquilla con respecto a las luces alcanza en todos los arcos un valor muy parecido, cuya media es $1/8,4$.
2. Relación espesor pila/luz del arco contiguo:

En este caso también es un valor muy parecido según sea el arco que consideremos y las pilas que lo enmarcan, por lo que tomamos el valor medio que es $1/3$.

3. Relación Σ Luces / longitud entre estribos

Esta relación viene dada por el cociente entre la suma de las luces, 53,10 m, y la longitud total entre estribos, 68,10 m, obteniéndose 0,78 (78%).

5.2.3.- El puente de Caparra (Cáceres).

El puente de Caparra está cerca del pueblo Ventas de Caparra y de los restos de la antigua ciudad de *Capera*, mansión de la vía *Item ab Emerita Caesaraugustam* que figura en el Itinerario de Antonino, la vía 24 según la clasificación realizada por Eduardo Saavedra¹⁰⁹.



Alzado aguas arriba del puente de Caparra.



Arco cuadrifonte de Caparra (Cáceres)

El puente que conserva importantes restos del original se construyó sobre el Ambroz para facilitar el paso a la vía mencionada, posteriormente conocida por Vía de la Plata. Antes de llegar al puente, el caminante que se dirigiese al norte en dirección a *Salmantica*, pasaba por el singular arco viario también llamado de Caparra, de tipo *tetrapylon*, con una bóveda de arista sobre la cual se ejecutó un refuerzo de hormigón. Ejecutado por un alto cargo municipal, fue construido en medio de la antigua mansión (García Bellido, 1979, p. 312). Su construcción tanto Galliazzo como Roldán Hervás, la datan en época de Trajano, como es habitual.

¹⁰⁹ Saavedra y Moragas, E.: "Discursos leídos ante la Real Academia de la Historia en la recepción pública de D. Eduardo Saavedra". Madrid, 1862.

La fábrica romana que se conserva en el puente esta localizada en los dos arcos centrales y la pila que está entre ellos. Está ejecutada con sillería granítica, colocada en seco, con muchas piezas colocadas a soga, tanto en el tímpano como en las bóvedas. Los sillares tienen almohadillado en las caras exteriores.



Alzado aguas arriba de los arcos centrales del puente de Caparra, prácticamente de la misma luz.

El alzado aguas abajo esta muy alterado por el traslado que sufrió al ampliarse la plataforma en 1955 (Galliazzo, 1995, tomo I, p. 362) para adaptarlo al camino de servicio del embalse Gabriel y Galán (Fernández Casado, 1980, s.p.). Las otras dos bóvedas no son originales y están una a cada lado.



Intradós de una bóveda del puente de Caparra donde se ve la ampliación realizada en 1955

El puente está cimentado sobre un estrato rocoso que aflora en aquella zona, existiendo una primera hilada sobresaliente de los paramentos tanto de los estribos como de las pilas.

De las bóvedas centrales, parece que la única que conserva su directriz original de medio punto es la de la izquierda, mientras que la derecha ha deformado su medio punto al producirse un aumento de su luz, quizá por un corrimiento del estribo derecho. El espesor de las boquillas es bastante uniforme, de 0,60 m en el tramo entre la clave y los riñones, pasando a ser de 1,00-1,10 m entre esta última zona y los arranques de los arcos o salmeres.



Tímpano y espesor variable de las dovelas del puente de Caparra

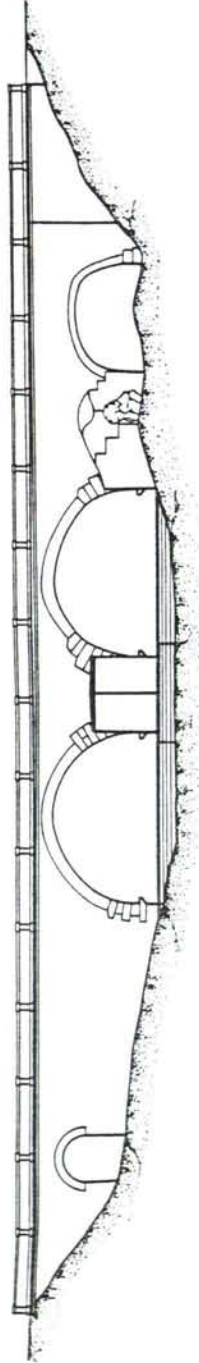
Esta curiosa disposición constructiva, que también se aprecia en el puente de Albarregas, resulta favorable para el paso de la línea de presiones por dentro de la fábrica y de este modo asegurar la estabilidad de las bóvedas.

En el arranque interior de las bóvedas centrales se conserva una cornisa con chaflán inverso que marca la separación de los cuerpos de pilas y estribos de las bóvedas. Este tipo de cornisa también se empleó en el puente de Salamanca, al nivel de la calzada. En la ampliación de 1955 colocaron una cornisa labrada con idéntico perfil.

El pequeño arco de la izquierda, de clara construcción posterior, es en realidad un desagadero, rematado con una bóveda de medio punto. El arco situado más a la derecha es también moderno, un poco más grande, de construcción muy deficiente pues tiene una directriz francamente irregular.

El ancho primitivo de las bóvedas era de 5,00 m, alcanzando en la actualidad los 7,30 m, a consecuencia de la ampliación mencionada.

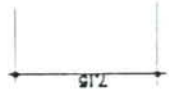
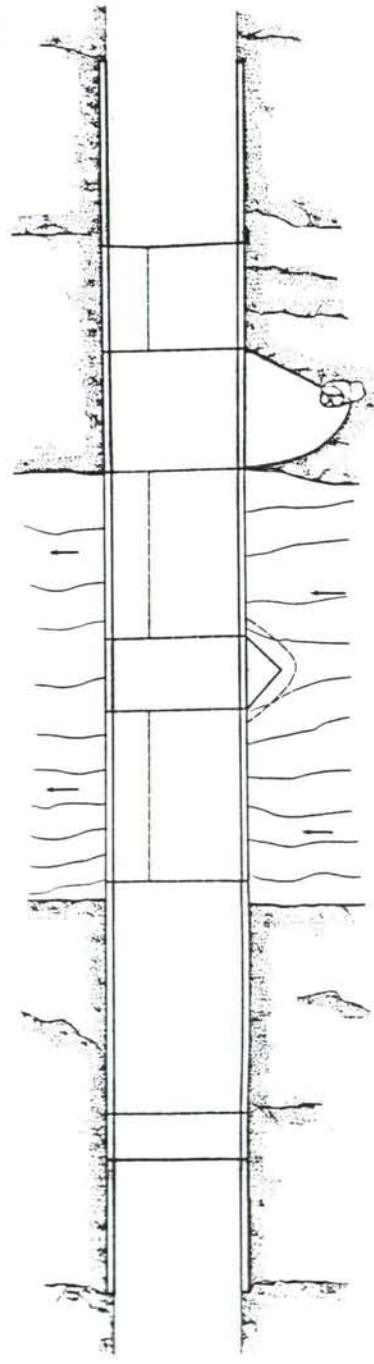
La pila central, situada en el medio del cauce, quizá sea la única de *Hispania* que conserva el remate horizontal del tajamar, a media altura del tímpano central, que pudo ser la forma habitual de rematarlos, hipótesis que sostenemos después de haber visto otros remates que pudieron ser horizontales en el Ponte Freixo, Ponte Bibei y el puente de Segura.



Escala Gráfica
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 m

ALZADO AGUAS ARRIBA

PUENTE DE CAPARRA



PLANTA



Pila y tajamar central del puente de Caparra.

La otra pila construida en la margen derecha entre los arcos 3º y 4º, tiene adosado a su frente un desvencijado tajamar de planta muy irregular, con uno de sus lados recto y otro curvo. Más que una pila, creemos que se trata de los restos del estribo derecho del antiguo puente romano, ya que el arco derecho es moderno y fue realizado para aumentar el desagüe de la obra.



Arco reconstruido y muy deformado en la margen derecha del puente de Caparra.

Las luces de los arcos y los espesores de las pilas, desde la orilla izquierda a la derecha, son:

Arco nº 1 (moderno)	2,40 m	Machón	12,05 m
Arco nº 2 (romano)	8,87 m	Pila	3,80 m
Arco nº 3 (romano)	8,68 m	Machón	6,20 m
Arco nº 4 (moderno)	5,47 m		

La rasante debió ser horizontal, como puede verse en una foto anterior a la mencionada ampliación (Fernández Casado, 1980, s.p.). El pretil es también moderno.

Las relaciones dimensionales estudiadas se han limitado a las dos bóvedas centrales y a la pila entre ellas:

1. La relación del espesor de la rosca en las boquillas con respecto a la luz de las dos bóvedas mencionadas es:
 Zona clave-riñones (valor medio) 1/ 14,6
 Zona riñones-arranque (valor medio) 1/ 8,4
2. Relación espesor pila central /luz media de los arcos centrales:
 El valor de esta relación es 1/ 2,3.
3. Relación Σ Luces / longitud entre estribos del presunto puente romano.

Si consideramos que es muy probable que el puente original romano sólo tuviese los dos arcos centrales y una única pila, esta relación alcanzaría el valor 0,82 (82%).

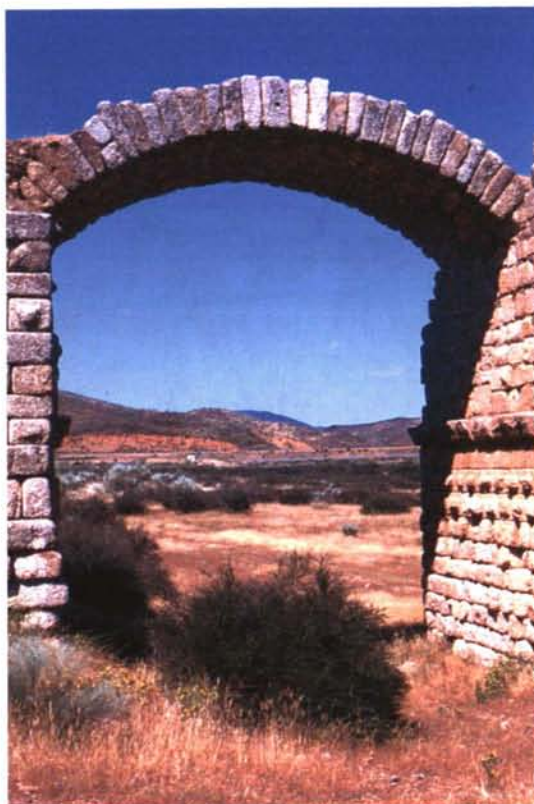
5.2.4.- El puente de Alconetar (Cáceres)

Los restos conservados del puente de Alconetar, antaño sobre el río Tajo muy cerca de la desembocadura del río Almonte, afluente que le llega por la izquierda, todavía nos muestran su primitiva grandeza y la originalidad de su diseño, apreciable en la utilización de grandes arcos rebajados para cubrir los vanos. Hace algunos años (1970) fue trasladado a un nuevo emplazamiento cercano al primitivo, por motivo de la construcción del embalse de Alcántara, operación que siempre produce un cierto desarraigo territorial y una merma en la fidelidad dimensional original pues siempre existe la duda de la calidad de la reconstrucción. Ante lo inevitable y como alternativa a quedar sumergido, el traslado es siempre lo menos malo pero no puede evitarse un claro perjuicio a la verdad histórica del puente.



Alzado aguas arriba de los restos trasladados del puente de Alconetar

También conocido por puente de Mantible¹¹⁰ permitió el paso de la vía que salía de Mérida hacia el norte, citada por el Itinerario de Antonino como la vía *Item ab Emerita Caesaraugustam*, la 24 de Eduardo Saavedra. Se construyó a lo largo del corredor natural formado por las depresiones de los ríos Alagón, Tietar y Tajo, que facilita el paso de Extramadura hacia los llanos de León y Zamora¹¹¹. Este ingeniero de caminos estudió los restos conservados en su ubicación original, aportándonos valiosos datos.



Fotografía de los restos del puente de Alconetar en su asentamiento original sobre el río Tajo.

Otra fuente documental muy interesante la aporta Alexandre De Laborde (1805) que realizó unos espléndidos grabados del puente reproducidos en su obra "Voyage pittoresque de l'Espagne" en los que se ve un arco más, hoy desaparecido (Fernández Casado, 1980, s.p.).

Se mantuvo en servicio hasta la Reconquista, momento en el que fue posiblemente destruido cuando el Tajo fue frontera entre islámicos y cristianos (siglos XI y XIII) (Prieto Vives, 1925, pp. 155 y ss.), o se arruinó por fallos en la cimentación de los arcos centrales. Rodrigo Gil de Hontañón hizo un proyecto para repararlo en 1553, con un presupuesto de 80.000 ducados, pero no debió ejecutarse¹¹².

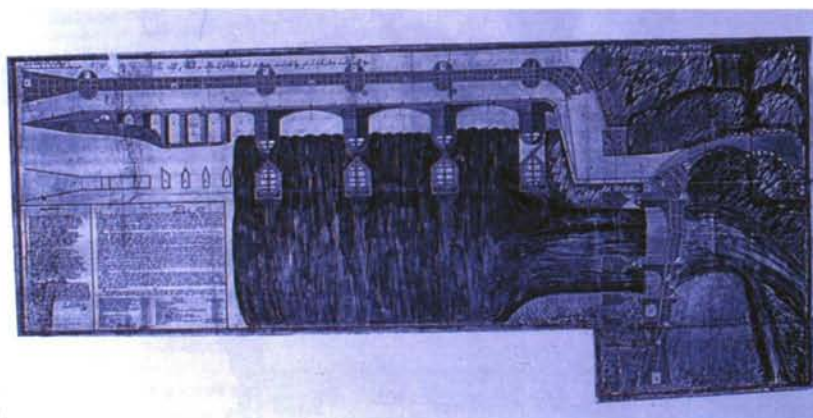
Su reconstrucción se intentó en dos ocasiones en el siglo XVIII, una de ellas en 1730, según menciona Pascual Madoz. El paso de barcas que permitió el paso durante los largos períodos

110 López Gómez, A.: "La navegación por el Tajo. El reconocimiento de Carduchi en 1641 y otros proyectos". Real Academia de la Historia. Madrid, 1998. P. 92.

111 Prieto Vives, A.: "El puente romano de Alconetar". Archivo Español de Arte y Arqueología, t. I. Madrid, 1925.

112 García Tapia, N.: "Ingeniería y arquitectura en el renacimiento español". Universidad de Valladolid, 1989.

de tiempo en los que el puente estuvo cortado, ya aparece citado en documentos del siglo XIII. El que debió ser el último intento de reconstrucción lo conocemos gracias a una reciente publicación¹¹³ que incluye el preciso plano del puente elaborado por Joseph Garzía Galiano. Este arquitecto al servicio del ejército es el mismo que firmó la maqueta del puente de Alcántara que dio a conocer Fernández Casado (Fernández Casado, 1980, s.p.). En este plano el técnico mencionado reflejó los restos conservados, casi todos en la margen derecha, y el resto donde era necesario hacer la reconstrucción. También representó el puente más pequeño que había sobre el río Almonte.



Plano del puente de Alconetar elaborado por el arquitecto García Galiano en el siglo XVIII. (Villalón, M^a C.)

La fidelidad del plano con la realidad es relativamente buena, a pesar de contener algunos errores pues representa roto el quinto arco (por la derecha) y no el cuarto como dibujó años más tarde De Laborde. Hemos llegado a esta conclusión al comparar las medidas tomadas del plano con las reales medidas por nosotros en 1996 y ver que existe una gran igualdad entre ellas que nos ha sorprendido, pues más parece un croquis, a pesar de que su autor manifiesta haber "... paseado y medido el sitio antiguo..." (Navalón, 1989, p. 168), hecho que confirma la buena formación topográfica de los técnicos militares de aquella época. Las medidas tomadas de este plano las hemos obtenido sin tener en cuenta la escala gráfica, que llama pitipié, en varas castellanas, por resultarnos confusa por la mala copia de la que disponemos. Para solventarlo hicimos equivalente la medida del plano de la luz del arco nº 2 con la medida real, que nos proporciona una relación que permitió obtener el resto de las medidas.

En el Gabinete de Dibujos de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando se conservan dos planos de este puente, realizados por el maestro de obras Fernando Rodríguez y fechados en Mérida en el mes de noviembre de 1797. En uno de ellos (A-3638) el maestro representa el estado ruinoso en el que se encontraba en aquellas fechas, sólo con seis arcos en pie, los más cercanos a la orilla derecha, y con las cepas de las pilas apenas sobresaliendo del cauce.

¹¹³ Villalón, M^a C.: "Un proyecto de restauración del puente romano de Alconetar en el siglo XVIII". Norba-Arte IX. Universidad de Extremadura. 1989.